

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E**  
**AMBIENTAL**

**SISTEMA DE INDICADORES PARA PRIORIZAÇÃO DAS**  
**INTERVENÇÕES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS –**  
**ESTUDO DE CASO R.A. VARJÃO**

**CECILIA MOREIRA LIMA DE LEMOS**  
**PAULO VICTOR CORNÉLIO E SILVA**

**ORIENTADOR: NÉSTOR ALDO CAMPANA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA**  
**AMBIENTAL**

**BRASÍLIA / DF: NOVEMBRO / 2016**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**SISTEMA DE INDICADORES PARA PRIORIZAÇÃO DAS  
INTERVENÇÕES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS – ESTUDO DE  
CASO R.A. VARJÃO**

**CECILIA MOREIRA LIMA DE LEMOS**  
**PAULO VICTOR CORNELIO E SILVA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.**

**APROVADA POR:**

---

**NESTOR ALDO CAMPANA**

**(ORIENTADOR)**

---

**OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO**

**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES**

**(EXAMINADORA INTERNA)**

**BRASÍLIA/DF, 09 de DEZEMBRO de 2016.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

LEMOS, CECILIA MOREIRA LIMA; SILVA, PAULO VICTOR CORNELIO.

Sistema de Indicadores para Priorização das Intervenções em Bacias Hidrográficas – Estudo de caso R.A. Varjão.

xiii, 75 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2016)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Sistema de Indicadores

2. Saneamento

3. Salubridade Ambiental

I. ENC/FT/UnB

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LEMOS, C. M. L., SILVA, P. V. C. (2016). Sistema de Indicadores para Priorização das Intervenções em Bacias Hidrográficas – Estudo de Caso R.A. Varjão. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 74 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Cecilia Moreira Lima de Lemos e Paulo Victor Cornelio e Silva.

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Sistema de Indicadores para Priorização das Intervenções em Bacias Hidrográficas - Estudo de Caso R.A. Varjão.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2016

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Cecilia Moreira Lima de Lemos

SQS 112, Bloco F, apto 302

70.375-060 – Brasília/ DF – Brasil.

## FICHA CATALOGRÁFICA

LEMOS, CECILIA MOREIRA LIMA; SILVA, PAULO VICTOR CORNELIO.

Sistema de Indicadores para Priorização das Intervenções em Bacias Hidrográficas - Estudo de Caso R.A. Varjão.

xiii, 75 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2016)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Sistema de Indicadores

2. Saneamento

3. Salubridade Ambiental

I. ENC/FT/UnB

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LEMOS, C. M. L., SILVA, P. V. C. (2016). Sistema de Indicadores para Priorização das Intervenções em Bacias Hidrográficas - Estudo de Caso R.A. Varjão. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 74 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Cecilia Moreira Lima de Lemos e Paulo Victor Cornelio e Silva.

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Sistema de Indicadores para Priorização das Intervenções em Bacias Hidrográficas - Estudo de Caso R.A. Varjão.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2016

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Paulo Victor Cornelio e Silva

Rua RPS 09, Quadra 06, Lote 26, Residencial Porto Seguro.

74.366-155 – Goiânia/ GO – Brasil.

## **AGRADECIMENTOS CECILIA**

Agradeço à minha família, pelo amor, apoio, força e aprendizado durante toda minha vida. Meus pais, Ludmila e Massimo, avós, Zilmar e Bento, padrasto, Ricardo, irmã e irmãs de coração, Luísa, Marília e Luana, tios, primos e Márcia. Obrigada por tudo que vocês representam na minha vida.

À minha mãe, por me inspirar todos os dias, como pessoa, como profissional e como mulher. Por se fazer tão presente mesmo estando longe, pelo amor incondicional, pela sua capacidade de me tranquilizar e me dar forças em todos os momentos mais difíceis.

Ao meu orientador, Professor Néstor, pela confiança, paciência e dedicação ao nosso projeto.

À minha dupla de projeto e melhor amigo Paulo, um dos irmãos que a vida me deu, obrigada pelo companheirismo, amizade e cumplicidade durante nossa caminhada que já persiste há 5 anos. Obrigada por compartilhar os melhores e os piores momentos durante a nossa graduação. Seu apoio e amizade foram fundamentais nesses últimos anos.

Aos meus amigos de infância, meu porto seguro e minha segunda família, Vivianne, Mariana, Beatriz e Gabriel. Espero levar vocês pra vida inteira.

Às pessoas incríveis que a UnB trouxe para minha vida e que fizeram com que a minha experiência acadêmica, até hoje, fosse a mais enriquecedora e maravilhosa possível. Camila, Lucas Bia, Isadora, Thais, Jéssica, Cami Ribeiro, Niágara, Taynah, João, Bruna, Lukeka, Franck, Luísa, Tomás, Japa, Amanda, Aninha e Babi.

Ao meu primo Leandro e aos amigos Franck, Alexandre, Ana Luísa e Elisa pela contribuição e ajuda que nos deram durante o projeto.

## **AGRADECIMENTOS PAULO VICTOR**

Agradeço a Deus por toda luz e proteção que me foram dadas durante toda a minha vida.

Aos meus pais, Luiz Carlos e Magilda, e ao meu irmão, Luiz Otávio, por todo amor e confiança em mim depositados, por me ensinarem a honrar a minha família e os meus amigos, por serem o melhor que existe em mim. À minha avó, Joventina, por ser mulher, mãe, avó, guerreira e vencedora. Obrigado por serem os meus exemplos.

À minha família que sempre esteve ao meu lado. Em especial aos meus avós Joventina, Divino e Olinda; aos meus tios Carlos, Divina, Cilene, Marcos, Lucilene, Vanda, João, Sandra e Silas; aos meus primos e irmãos de coração Isabelle, Paulinho, Santhiago, Marcos Filho, Mylena, Renata e Shirley.

À Cecilia, coautora deste projeto final, pela nossa grande amizade e irmandade, pelo apoio e confiança incondicionais, por todos os momentos compartilhados, por ter me mostrado tudo o que Brasília tem de melhor e, principalmente, por ter me feito parte de sua família.

Ao nosso orientador, Professor Nestor, pela confiança depositada em nós, e por todos os ensinamentos repassados durante a execução deste projeto.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação, em especial Marco Antônio e Yovanka. Aos profissionais Prado, Leandro, Ana Luísa, Barbara, Franck, João Ponciano e Elisa, pelos ensinamentos que permitiram a conclusão deste projeto.

Aos amigos do Progressivo, Amanda Chiarelo, Amanda Rodrigues, Giuliana, Karollyne, Lucas, Natália, Rafael, Thaynara e Wiston, por termos dividido as primeiras impressões da vida adulta, conquistas, angústias, risos e lágrimas. “Estamos juntos e não abro”.

Aos amigos da República C. C., Pretto, Jon, João, Flávia, Lígia, Moreno e Thiago por terem sido a minha segunda família.

Aos amigos que me acolheram, e que não sabem o quão importante eles são em minha vida. Muito obrigado, Tomás, Ceci, Taynah, Biri, Cami, Japa, Nini, Xixe, Keka, Vivi, Mari Lima, Mari Braz, Tais, Isa, Ponci, Mendes, Bebis, Aninha, Johnny, Lukeka, Franck, Dutra, Dok, Vitinho, Camilão, Lu, Marina, Lanes e Luli.

Àqueles que receberam um desconhecido em sua casa e o tornaram parte de sua família. Aos meus amigos Máximo, Ludmila, Selme, Antônio, Catarina, Marcos, Hilton e Eliana.

## **RESUMO**

### **SISTEMA DE INDICADORES PARA PRIORIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS – ESTUDO DE CASO R.A. VARJÃO.**

**Autores: Cecilia Moreira Lima de Lemos e Paulo Victor Cornélio e Silva**

**Orientador: Néstor Aldo Campana**

A utilização de indicadores aplicada à priorização de intervenções traduz uma análise comparativa adequada para sanar as carências do sistema de saneamento. Sendo assim, este trabalho aborda a elaboração de um sistema de indicadores que traduzisse um diagnóstico do saneamento e da salubridade ambiental de uma bacia hidrográfica, e que possa ser aplicado como uma metodologia de auxílio à decisão para priorização de intervenções. Os Indicadores propostos incorporam aspectos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, resíduos sólidos urbanos, drenagem urbana, controle de vetores de doenças e socioeconômico. Cada um destes foi conformado por um ou mais subindicadores que procuraram refletir a realidade e detalhamento dos serviços, em termos de cobertura, qualidade e frequência.

Os indicadores foram agrupados em um Índice de Salubridade Ambiental (ISA) a partir de um somatório ponderado, atribuindo aos pesos, um valor entre zero e um, onde o valor mais próximo da unidade caracteriza a situação mais salubre e satisfatória possível e o valor mais próximo de zero a pior situação.

Consolidado o sistema de indicadores, foi feita uma avaliação da sensibilidade da variação dos pesos de cada um dos cinco indicadores que o compuseram, de modo a revelar quais indicadores mostraram maior influência no valor final do ISA.

O ISA proposto foi aplicado a uma sub-bacia hidrográfica, área de 0,401 km<sup>2</sup>, da bacia do Paranoá situada na região administrativa do Varjão, Distrito Federal. Com base nos resultados obtidos, foram sinalizados os pontos mais sensíveis da área de estudo, onde as intervenções são mais necessárias e eminentes. Sendo assim, constatou-se que a Drenagem Urbana da sub-bacia em análise compreende a infraestrutura de saneamento onde os resultados foram mais próximos de zero (pior situação). Dessa forma, foi proposta uma intervenção para verificar sua influência na melhoria do resultado final do ISA.

Com base na aplicação do ISA à sub-bacia, foram identificadas fragilidades em alguns dos indicadores que o compuseram e foram feitas recomendações de aprimoramento para a aplicação desta metodologia em estudos futuros.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	OBJETIVOS .....	3
2.1	Objetivo Geral.....	3
2.2	Objetivos Específicos .....	3
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO .....	4
3.1.1	Impactos da Urbanização sobre a Infraestrutura de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário .....	4
3.1.2	Impactos sobre a Geração de Resíduos .....	5
3.1.3	Impactos sobre a Infraestrutura de Drenagem Urbana e o Comportamento Hidrológico .....	8
3.1.4	Impactos Socioeconômicos sobre a Urbanização.....	13
3.2	SANEAMENTO BÁSICO.....	16
3.3	METODOLOGIAS DE AUXÍLIO À DECISÃO.....	17
3.3.1	Análises de Critério Único .....	18
3.3.2	Análises Multicritério.....	18
3.4	INDICADORES NO SANEAMENTO AMBIENTAL .....	21
3.5	ÍNDICE DE SALUBRIDADE AMBIENTAL .....	22
3.6	MODELAGEM HIDROLÓGICA .....	24
3.6.1	Modelo de Simulação ABC 6.....	25
3.7	APLICAÇÕES .....	27
4	METODOLOGIA .....	31
4.1	PROPOSIÇÃO DOS INDICADORES.....	32
4.1.1	Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário .....	32
4.1.2	Indicador de Resíduos Sólidos .....	34
4.1.3	Indicador de Controle de Vetores .....	37
4.1.4	Indicador de Drenagem Urbana .....	39
4.1.5	Indicador Socioeconômico.....	44
4.2	ESTUDO DE CASO .....	47
4.2.1	Caracterização da Área de Estudo .....	48
4.3	MODELAGEM HIDROLÓGICA .....	50
4.4	AGREGAÇÃO DOS INDICADORES.....	52
4.4.1	Indicadores.....	52



4.4.2	ISA .....	53
4.5	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	54
5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	55
5.1	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO.....	55
5.1.1	Cenário Pré-Urbanização.....	55
5.1.2	Cenário Atual.....	55
5.1.3	Cenário Pós Intervenção.....	56
5.2	RESULTADOS DOS INDICADORES.....	56
5.3	RESULTADOS DO ISA.....	58
5.4	RESULTADOS DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	58
5.5	DISCUSSÃO.....	59
5.5.1	Indicadores.....	60
5.5.2	ISA.....	67
5.5.3	Análise de Sensibilidade.....	67
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ABC</i>	<i>Análise de Bacias Complexas</i>
<i>ABRELPE</i>	<i>Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais</i>
<i>ADASA</i>	<i>Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal</i>
<i>AIMP</i>	<i>Áreas Impermeáveis</i>
<i>ANA</i>	<i>Agência Nacional de Águas</i>
<i>BA</i>	<i>Bahia</i>
<i>BMP</i>	<i>Best Management Practices</i>
<i>CAESB</i>	<i>Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal</i>
<i>CONESAN</i>	<i>Conselho Estadual de Saneamento no Estado de São Paulo</i>
<i>CRV</i>	<i>Centro de Triagem dos Resíduos do Varjão</i>
<i>DBO</i>	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio</i>
<i>DF</i>	<i>Distrito Federal</i>
<i>Dcs</i>	<i>Domicílios Urbanos Atendidos por Coleta Seletiva</i>
<i>Dua</i>	<i>Domicílios Urbanos Atendidos</i>
<i>Duc</i>	<i>Domicílios com Coleta de Resíduos</i>
<i>Due</i>	<i>Domicílios Urbanos Atendidos por Redes de Coleta</i>
<i>Dut</i>	<i>Domicílios Urbanos Totais</i>
<i>ELECTRE</i>	<i>Elimination Ect Choix Traduiasant Realité</i>
<i>GDF</i>	<i>Governo do Distrito Federal</i>
<i>GPS</i>	<i>Global Positioning System</i>
<i>IAAS</i>	<i>Indicador de Abastecimento de Águas e Esgotamento Sanitário</i>

<i>Iab</i>	<i>Índice de Abastecimento de Água</i>
<i>IAI</i>	<i>Subindicador de Alagamento ou Inundações Pontuais</i>
<i>IAIMP</i>	<i>Subindicador de Áreas Impermeáveis</i>
<i>IAPV</i>	<i>Subindicador de Antecipação do Pico de Vazão</i>
<i>IBGE</i>	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
<i>ICAA</i>	<i>Subindicador de Cobertura de Atendimento de Água Tratada</i>
<i>ICEE</i>	<i>Subindicador de Cobertura de Coleta de Esgotos</i>
<i>ICRS</i>	<i>Subindicador de Coleta de Resíduos Sólidos</i>
<i>ICS</i>	<i>Subindicador de Coleta Seletiva</i>
<i>Icv</i>	<i>Índice de Controle de Vetores</i>
<i>ICVD</i>	<i>Indicador de Controle de Vetores de Doenças</i>
<i>IET</i>	<i>Subindicador de Esgotos Tratados</i>
<i>IETSD</i>	<i>Subindicador de Esgotos Tratados por Sistemas Descentralizados</i>
<i>IDF</i>	<i>Intensidade – Duração – Frequência</i>
<i>Idr</i>	<i>Índice de Drenagem Urbana</i>
<i>IDR</i>	<i>Subindicador de Destinação de Resíduos</i>
<i>IDRS</i>	<i>Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento</i>
<i>IDU</i>	<i>Indicador de Drenagem Urbana</i>
<i>Ies</i>	<i>Índice de Esgotamento Sanitário</i>
<i>IFAA</i>	<i>Subindicador de Focos de Aedes Aegypti</i>
<i>IIP</i>	<i>Índices de Infestação Predial</i>
<i>IMC</i>	<i>Subindicador de Medidas Compensatórias</i>
<i>INE</i>	<i>Subindicador de Escolaridade</i>
<i>IQA</i>	<i>Subindicador de Qualidade da Água Escocada</i>

<i>IR</i>	<i>Subindicador de Reciclagem</i>
<i>IRD</i>	<i>Subindicador de Renda Domiciliar</i>
<i>IRS</i>	<i>Indicador de Resíduos Sólidos</i>
<i>Irs</i>	<i>Índice de Resíduos Sólidos</i>
<i>ISE</i>	<i>Indicador Socioeconômico</i>
<i>ISA</i>	<i>Índice de Salubridade Ambiental</i>
<i>IVP</i>	<i>Subindicador de Vazões de Pico</i>
<i>Labsid</i>	<i>Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos</i>
<i>LIRAA</i>	<i>Levantamento de Índice Rápido do Aedes Aegypti</i>
<i>N/A</i>	<i>Não Avaliado</i>
<i>NIS</i>	<i>Negative Ideal Solution</i>
<i>NOVACAP</i>	<i>Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil</i>
<i>OMS</i>	<i>Organização Mundial de Saúde</i>
<i>ONU</i>	<i>Organização das Nações Unidas</i>
<i>PDAD</i>	<i>Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios</i>
<i>PNRS</i>	<i>Política Nacional de Resíduos Sólidos</i>
<i>PR</i>	<i>Peso do Lixo Reciclado</i>
<i>PT</i>	<i>Peso do Lixo Coletado pela Coleta Seletiva</i>
<i>Q pré</i>	<i>Vazão de Pré Urbanização</i>
<i>Q pós</i>	<i>Vazão de Pós Urbanização</i>
<i>Qufc</i>	<i>Quantidade de domicílios urbanos que tem seus esgotos tratados por fossas sépticas</i>
<i>Qna</i>	<i>Quantidade de domicílios urbanos que não são atendidos pela rede de esgoto geral</i>

<i>RA</i>	<i>Região Administrativa</i>
<i>SBAU</i>	<i>Sociedade Brasileira de Arborização Urbana</i>
<i>SC</i>	<i>Santa Catarina</i>
<i>SES</i>	<i>Secretaria do Estado de Saúde</i>
<i>SHTQ</i>	<i>Setor Habitacional Taquari</i>
<i>SIG</i>	<i>Sistema de Informação Geográfica</i>
<i>SINAN</i>	<i>Sistema de Informação de Agravos de Notificação</i>
<i>SLU</i>	<i>Serviço de Limpeza Urbana</i>
<i>SVS</i>	<i>Diretoria de Vigilância Sanitária</i>
<i>TN</i>	<i>Nitrogênio Total</i>
<i>TOPSIS</i>	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
<i>TP</i>	<i>Fósforo Total</i>
<i>TPb</i>	<i>Chumbo Total</i>
<i>TSS</i>	<i>Sólidos Suspensos Totais</i>
<i>TZ</i>	<i>Zinco Total</i>
<i>UnB</i>	<i>Universidade de Brasília</i>
<i>USP</i>	<i>Universidade de São Paulo</i>
<i>VC</i>	<i>Volume Coletado</i>
<i>VF</i>	<i>Volume de Esgoto Tratado por Fossas</i>
<i>VNC</i>	<i>Volume Não Coletado</i>
<i>VT</i>	<i>Volume Tratado de Esgoto</i>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 3-1 Geração de Resíduos Sólidos Urbanos. Fonte: Pesquisa ABRELPE e IBGE (2014). ....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3-2 Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos (t/dia). Fonte: Pesquisa ABRELPE (2014)..</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3-3 Iniciativas de Coleta Seletiva por Grupos de Municípios Classificados por Faixa de População. Fonte: Pesquisa ABRELPE (2014). ....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3-4 Comparação dos Hidrogramas de Pré-Urbanização e Pós Urbanização. Fonte: NUCASE (2007). ....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3-5 Curvas de Danos x Profundidade de Submersão para o Setor Habitacional e Classes Socioeconômicas C e D. Fonte: Machado et al. (2005). ....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3-6 Situação de Abastecimento de Água no Brasil por Faixa de Rendimento per capita Mensal Domiciliar em 2010. Fonte: Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (2013). ....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3-7 Situação de Abastecimento de água no Brasil por anos de Estudos do Responsável pelo Domicílio em 2010. Fonte: Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (2013). ....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3-8 Fenômenos Naturais do Ciclo Hidrológico Simulados pelo Software ABC 6. Fonte: Lunardi (2013). ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4-1 Delimitação da Bacia na qual será aplicada a Metodologia .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4-2 Ponto de Encontro Comunitário Varjão.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4-3 Mapa de Uso e Cobertura do Solo para a Bacia no Varjão.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4-4 Divisão das Áreas da Bacia (Montante, Intermediária e Jusante) para aplicação da modelagem .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5-1 Gráficos obtidos a partir da Análise de Sensibilidade para cada Indicador .....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 5-2 Disposição de Resíduos no Varjão .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-3 Disposição de Resíduos de Materiais de Construção no Varjão.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5-4 Muro de Contenção de Inundações instalado no Varjão .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 5-5 Muro de Contenção e calha para escoamento no Varjão .....</i>	<i>64</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3-1 Principais Causas dos Problemas de Drenagem Urbana.</i> .....	9
<i>Tabela 3-2 Taxa de Redução dos Poluentes do Escoamento Superficial. Fonte: Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999 apud Brito, (2006).</i> .....	12
<i>Tabela 3-3 Porcentagem de Redução Média dos Poluentes do Escoamento Superficial. Fonte: Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999 apud Brito (2006).</i> .....	13
<i>Tabela 3-4 Trabalhos com Aplicações de Técnicas Multiobjetivo a Diversos Estudos de Caso (adaptado de Barbosa (1997) apud Brito (2006); Castro (2002); Moura (2004); Brito (2006) e Côrtes (2009)).</i> .....	28
<i>Tabela 4-1 Classificação da Incidência de Dengue de acordo com o SINAN. Fonte: Informativo Epidemiológico de Dengue, Chikungunya e Zika, Secretaria de Saúde do DF (2016).</i> .....	37
<i>Tabela 4-2 Critério atribuído em função da Incidência da Dengue. Fonte: Adaptado de Informativo Epidemiológico de Dengue, Chikungunya e Zika, Secretaria de Saúde do DF (2016).</i> .....	38
<i>Tabela 4-3 Classificação dos Índices de Infestação Predial por Aedes Aegypti estabelecido pelas Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue, 2009, MS. Fonte: Adaptado de Levantamento de Índice Rápido do Aedes Aegypti, Diretoria de Vigilância Ambiental em Saúde (2016).</i> .....	38
<i>Tabela 4-4 Critério atribuído em função do Intervalo do IIP</i> .....	39
<i>Tabela 4-5 Peso atribuído em função da altura da inundação.</i> .....	40
<i>Tabela 4-6 Valores atribuídos aos Parâmetros de Qualidade da Água de acordo com a Porcentagem de Redução. (Adaptado de Brito, 2006).</i> .....	43
<i>Tabela 4-7 Classificação de Renda e Peso Atribuído. Fonte: Adaptado PDAD (2016).</i> .....	45
<i>Tabela 4-8 Classificação conforme o Nível de Escolaridade e Peso Atribuído. Fonte: Adaptado PDAD (2016)</i> .....	46
<i>Tabela 4-9 Critério atribuído conforme o resultado obtido para as áreas recreativas.</i> .....	47
<i>Tabela 4-10 Dados de Entrada para a Condição da Bacia Pré-Urbanizada.</i> .....	51
<i>Tabela 4-11 Dados de Entrada para a Condição da Bacia Atual</i> .....	51
<i>Tabela 4-12 Dados de Entrada para a Condição Pós-Intervenção da Bacia, após a instalação uma medida compensatória</i> .....	52
<i>Tabela 4-13 Indicadores, Subindicadores e pesos atribuídos</i> .....	53
<i>Tabela 5-1 Resultados da Simulação para a condição de Pré-Urbanização</i> .....	55
<i>Tabela 5-2 Resultados da Simulação para a Condição Atual</i> .....	55
<i>Tabela 5-3 Resultados da Simulação para a Condição Pós-Intervenção.</i> .....	56
<i>Tabela 5-4 Resultados Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário</i> .....	56
<i>Tabela 5-5 Resultados do Indicador de Resíduos Sólidos</i> .....	56
<i>Tabela 5-6 Resultados do Indicador de Controle de Vetores de Doença</i> .....	57
<i>Tabela 5-7 Resultados Indicador de Drenagem Urbana para a Condição Atual</i> .....	57
<i>Tabela 5-8 Resultados do Indicador de Drenagem Urbana Pós-Intervenção.</i> .....	57
<i>Tabela 5-9 Resultados do Indicador Socioeconômico</i> .....	57
<i>Tabela 5-10 Resultado do ISA para a condição atual</i> .....	58
<i>Tabela 5-11 Resultado do ISA após aplicação de uma intervenção</i> .....	58
<i>Tabela 5-12 Resultados dos Coeficientes de cada Curva obtida na Análise de Sensibilidade dos Indicadores.</i> .....	59
<i>Tabela 5-13 Situação de Salubridade conforme a pontuação do Índice de Salubridade Ambiental. Fonte: Adaptado de Batista e Silva (2006).</i> .....	67

# 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização teve seu ápice na Revolução Industrial na Inglaterra e em outros países da Europa. No Brasil e demais países em desenvolvimento, este processo foi mais tardio, coincidindo com o período de industrialização e mecanização do campo. Desde então, a urbanização promoveu grandes mudanças no meio ambiente e nas características socioeconômicas da sociedade. Para incorporar esse contingente populacional, as cidades sofreram diversas modificações em sua infraestrutura, o que muitas vezes não foi acompanhado de um planejamento adequado e desencadeou uma série de problemas sociais, ambientais e estruturais, como, por exemplo: ocupação de áreas irregulares, intensificação da desigualdade social, perda da cobertura vegetal, enchentes, deslizamentos, secas, implicações na saúde da população, dentre outros. Países desenvolvidos e em desenvolvimento foram afetados de formas distintas dentro deste processo, principalmente no que se refere à capacidade de remediar tais impactos. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - (2013), 1,4 milhão de pessoas ficaram desabrigadas em decorrências das enchentes no Brasil entre o período de 2008 e 2012.

Nesse contexto, atualmente outras variáveis passaram a ser levadas em consideração durante o processo de tomada de decisão referente à escolha e priorização das intervenções na infraestrutura urbana, como por exemplo, a questão ambiental. O cenário atual requer investimentos em tecnologias alternativas e compatíveis com o futuro do planeta, inclusão da população não privilegiada e afetada pelos serviços precários de saneamento, pobreza e demais consequências do nosso modelo socioeconômico. Embora milhões de pessoas no mundo sejam afetadas pela falta de saneamento (Organização Mundial da Saúde - OMS -, 2013), um dos princípios fundamentais deste serviço é a universalização do acesso.

Sendo assim, o processo de tomada de decisão quanto às intervenções que combatam os efeitos negativos da urbanização tornou-se ainda mais complexo, abrangendo múltiplos aspectos e variáveis sociais, econômicas, ambientais e hidrológicas.

Ministério das Cidades, Ministério da Saúde (2006), apontam a utilização de indicadores e/ou índices setoriais como uma boa alternativa para definir intervenções a curto e médio prazo, tendo em vista a multiplicidade de técnicas e critérios que podem abranger.



Tomando como motivação os diversos impactos que a urbanização causa sobre a infraestrutura das cidades, especialmente no setor de saneamento, e a atual dificuldade governamental de propor intervenções e saber onde priorizar investimentos, no presente trabalho será desenvolvido um sistema de indicadores que resulte em um Índice de Salubridade Ambiental (ISA), de forma a traduzir um diagnóstico da salubridade de uma região e da cobertura por serviços públicos de saneamento. O objetivo do ISA seria apontar quais os pontos mais sensíveis (abastecimento de água, drenagem, controle de vetores, dentre outros) onde as intervenções devem ser priorizadas. Esse índice será construído a partir do somatório ponderado de indicadores, levando em consideração múltiplos critérios. Cada indicador, por sua vez, será constituído por um ou mais subindicadores.

Para verificar a metodologia proposta, o ISA será aplicado a uma bacia hidrográfica delimitada na Região Administrativa do Varjão, Distrito Federal. A escolha da área de aplicação foi definida tomando como base a proximidade da Universidade de Brasília, facilitando eventuais visitas e a facilidade de obtenção de dados.

O texto está estruturado em cinco capítulos, incluindo esta introdução:

- Capítulo 2: aborda o objetivo geral e os específicos do trabalho.
- Capítulo 3: compreende a fundamentação teórica e revisão bibliográfica, abordando temas como os impactos da urbanização, metodologias de auxílio à decisão e utilização de indicadores dentro do processo de tomada de decisões no saneamento.
- Capítulo 4: metodologia utilizada neste estudo, detalhamento do sistema de indicadores e de todos os subindicadores que o compuseram, assim como a aplicação da metodologia a uma bacia hidrográfica no Distrito Federal.
- Capítulo 5: resultados e discussão dos resultados obtidos.
- Capítulo 6: conclusões e recomendações a serem seguidas nos próximos trabalhos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral do presente trabalho é elaborar um sistema de indicadores que resulte em um Índice de Salubridade Ambiental (ISA), que possa ser utilizado para a priorização de intervenções sobre os principais componentes da infraestrutura urbana de saneamento em bacias hidrográficas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Definir novos e/ou aprimorar indicadores já existentes com base nos principais aspectos relacionados ao saneamento ambiental;
- Consolidar os indicadores em um Índice de Salubridade Ambiental;
- Definir apresentação numérica ou gráfica dos indicadores e do Índice de Salubridade Ambiental;
- Aplicar a metodologia a uma região no Distrito Federal (DF), a título de verificação do sistema de indicadores.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO**

Segundo o relatório produzido pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2014, “Perspectivas da Urbanização Mundial”, a população urbana em 2045 a nível mundial irá ultrapassar seis mil milhões.

Para incorporar o incremento dessa população, as cidades sofrem modificações em sua infraestrutura, como forma de atender às demandas de emprego, educação, saúde e transporte da população, resultando em uma série de impactos sociais, ambientais e econômicos.

No Brasil, as elevadas taxas de crescimento urbano, acrescidas ao problema de distribuição de renda do país, resultaram em uma infraestrutura urbana deficiente. Dessa forma, os instrumentos de ordenação do desenvolvimento urbano, como diretrizes de uso do solo, sua implementação e fiscalização, não foram suficientes para gerir o crescimento acelerado das cidades (Nascimento e Heller, 2004).

De acordo com Tucci (2005), o desenvolvimento urbano se intensificou na segunda metade do século XX, produzindo consequências diretas sobre o meio ambiente e a infraestrutura urbana de abastecimento de água e esgotamento sanitário, drenagem urbana e geração e disposição de resíduos.

##### **3.1.1 Impactos da Urbanização sobre a Infraestrutura de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**

O processo de urbanização é responsável por uma série de consequências sobre o Sistema de Abastecimento de Água Potável e Esgotamento Sanitário, motivados, principalmente, pela ineficácia da gestão e do planejamento urbano. Muitas cidades brasileiras não contam com sistema de tratamento de esgoto e lançam seus efluentes na rede de esgotamento pluvial, contaminando rios urbanos e, consequentemente, configurando riscos ao abastecimento da população. Além disso, o crescimento acelerado das cidades promove uma maior concentração de pessoas em pequenas áreas, o que, indiretamente, afeta a qualidade dos serviços de saneamento, saúde e abastecimento de água (Tucci, 2005).

Dentre os impactos observados sobre as redes de esgotos, destacam-se os pontos de ligação clandestina. A entrada de águas de chuva na rede de esgotos representa um fator relevante no sentido de promover grandes variações na vazão afluente. O sistema

separador, normalmente, deveria separar o esgoto das águas de chuva, porém, na prática, existem ligações clandestinas de águas de chuva na rede de esgoto, causando problemas operacionais ao funcionamento das Estações de Tratamento de Esgotos. Além disso, a água da chuva penetra o sistema de coleta, como tampões e poços de visita (Sperling, 2005).

Muitas vezes, com o rápido crescimento das cidades, a água passa a não ser suficiente para suprir a população, de modo que esta procura suas próprias formas de abastecimento. A população de baixa renda tende a perfurar poços rasos, que apresentam elevadas chances de estarem contaminados. A população de alta renda, por sua vez, perfura poços profundos, deflagrando um diferente tipo de impacto: o rebaixamento dos níveis do terreno pelo esgotamento de água. Em zonas litorâneas, esse processo também pode causar a intrusão salina (Tucci, 2010).

No Brasil, o acesso à água pela população vem se expandindo de forma precária, superando a capacidade das redes de abastecimento e sem promover a coleta e o tratamento dos esgotos. Dessa forma, a universalização do abastecimento de água, combinada a vulnerabilidade das fontes superficiais, vem expondo a saúde e segurança da população, quando, na verdade, deveria protegê-la (Andreazzi *et al.* 2007).

Nesse contexto, os baixos índices de coleta, transporte e tratamento de esgoto atentam para a implementação de ações nesse campo. Em áreas rurais ou com baixo adensamento populacional prevalece a utilização de fossas negras ou rudimentares, que se caracterizam como soluções de baixo custo, simples operação e manutenção, mas que causam a poluição do solo e do lençol freático, além de mau cheiro e atração de insetos (Funasa, 2011).

Em vista disso, salienta-se a necessidade de aplicação de tecnologias de tratamento de esgotos descentralizados como as fossas sépticas. Para Cordeiro (2010), do ponto de vista técnico, as fossas sépticas são sistemas anaeróbios de tratamento individual de esgotos sanitários e enquadram-se nos sistemas de tratamento de águas residuárias “in situ”.

### **3.1.2 Impactos sobre a Geração de Resíduos**

Segundo Siqueira e Moraes (2009), os problemas atrelados à questão dos resíduos sólidos têm sido uma marca da sociedade contemporânea, contribuindo para a deterioração da qualidade de vida nos grandes centros urbanos. Os impactos dos resíduos gerados pelas atividades urbanas implicam riscos à saúde da população, degradam o meio ambiente e

ainda levantam aspectos socioeconômicos, como por exemplo, a problemática social atrelada aos lixões e aos catadores.

No Brasil, a geração total de Resíduos Sólidos Urbanos em 2014, segundo pesquisas realizadas pela ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) e pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), foi de 78,6 milhões de toneladas, o que corresponde a um índice superior ao crescimento populacional (0,9%). A figura 3.1 expressa uma comparação da geração de resíduos sólidos urbanos entre os anos de 2013 e 2014, sendo possível observar um aumento de 2,90% e 2,02%, respectivamente.

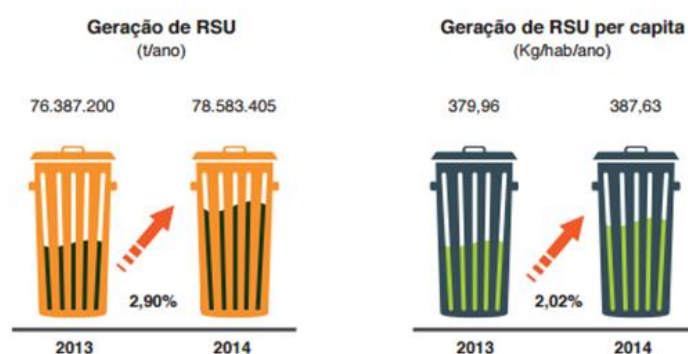


Figura 3-1 Geração de Resíduos Sólidos Urbanos. Fonte: Pesquisa ABRELPE e IBGE (2014).

Os diversos tipos de resíduos sólidos produzidos no meio urbano, segundo Ministério das Cidades, Ministério da Saúde, (2006), possuem pouca mobilidade, exceto aqueles transportados pelas águas das chuvas, de modo que, no local onde são dispostos, mantêm-se em um processo lento de degradação, transformando-se em focos de poluição.

Os impactos ambientais provocados pelos resíduos em meio urbano são causados, em sua maioria, pela disposição inapropriada em fundos de vale e às margens de ruas ou cursos d'água. Dentre os impactos destacam-se a contaminação de corpos d'água, assoreamento, enchentes e proliferação de vetores de doenças. Acrescenta-se ainda o inconveniente do mau cheiro e poluição visual (Mucelin e Bellini, 2008).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, a aprovação da política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº12305, de 2010, marcou o início de uma forte articulação institucional envolvendo os três entes federados - União, Estados e Municípios, o setor produtivo e a sociedade em geral. A partir de agosto de 2010, baseado no conceito de responsabilidade compartilhada, a sociedade como um todo – cidadãos, governos, setor privado e sociedade civil organizada – passou a ser responsável pela gestão

ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. O manejo adequado e a implementação de um Plano de Gestão possibilitam mudanças sociais, ambientais e econômicas, de modo que promovem a geração de empregos, renda, inclusão social e diminuem os impactos ambientais advindos da disposição inadequada dos resíduos.

A coleta seletiva configura um importante instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, juntamente com a disposição final ambientalmente adequada de rejeito. Para efeitos desta Lei, considera-se disposição final ambientalmente adequada, àquela que distribui os rejeitos em aterro de forma ordenada, de acordo com normas operacionais, evitando riscos à saúde pública e procurando minimizar impactos ambientais. As imagens 3.2 e 3.3 expressam uma comparação entre as destinações de resíduos sólidos no Brasil entre o ano de 2013 e 2014 e as iniciativas de coleta seletiva por grupos de municípios classificados por faixas de população respectivamente.

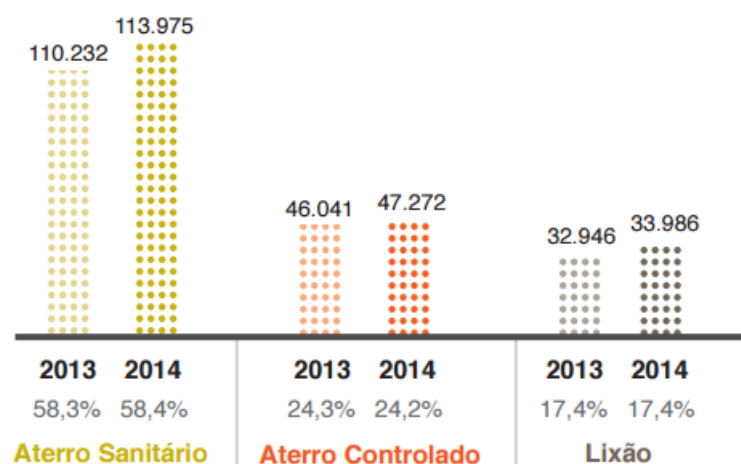


Figura 3-2 Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos (t/dia). Fonte: Pesquisa ABRELPE (2014).

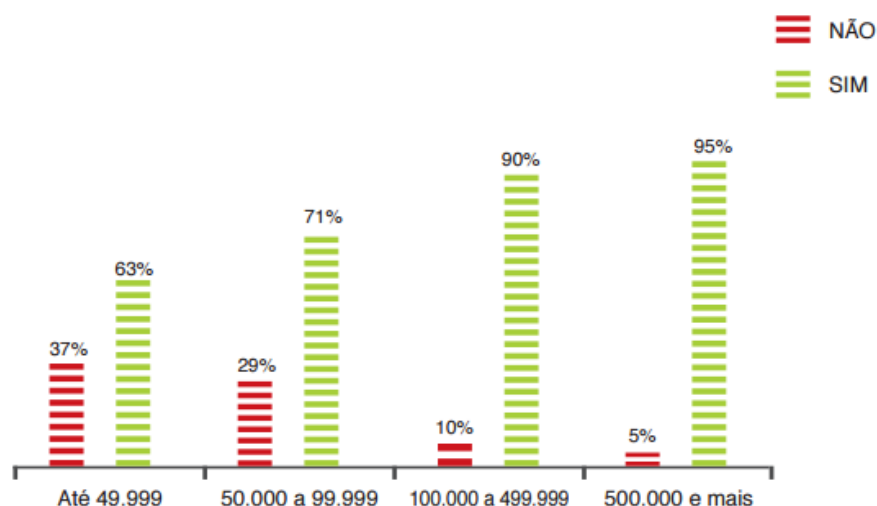


Figura 3-3 Iniciativas de Coleta Seletiva por Grupos de Municípios Classificados por Faixa de População. Fonte: Pesquisa ABRELPE (2014).

### 3.1.3 Impactos sobre a Infraestrutura de Drenagem Urbana e o Comportamento Hidrológico

O processo de urbanização e sua relação com os cursos d'água são responsáveis por uma sucessão de impactos, que se resumem ao aumento dos picos de vazão. Com a intensificação desse processo, observa-se que as redes de drenagem tornam-se obsoletas, e, consequentemente, as inundações urbanas mais recorrentes (NUCASE, 2007).

De acordo com Canholi (2014), a urbanização de muitos países, incluindo o Brasil, se deu a partir das zonas mais baixas e próximas aos rios ou à costa, em direção às áreas mais elevadas, em função da necessidade de proximidade da população aos corpos hídricos para executar suas atividades. Consequentemente, observa-se a impermeabilização do terreno, visto que a cobertura da vegetação nativa dá lugar à pavimentação e demais construções. Em seguida, para atender às necessidades da população e compor os sistemas viários das cidades, rios foram retificados e canalizados. A prática da canalização contribui com o aumento considerável dos picos de vazão e da velocidade do escoamento e, portanto, com as inundações, visto que as áreas das várzeas, outrora destinadas aos alagamentos naturais dos períodos de cheia, foram extintas.

A figura 3.4 representa hidrogramas hipotéticos de pré-urbanização e pós-urbanização, onde se percebe um aumento do volume total da água escoada, aceleração do escoamento, aumento da vazão de pico e antecipação do tempo de pico. Essas alterações se devem, principalmente, à perda da capacidade de infiltração pela impermeabilização do

solo e às características do sistema de drenagem que contribuem para o aumento do fluxo das velocidades.

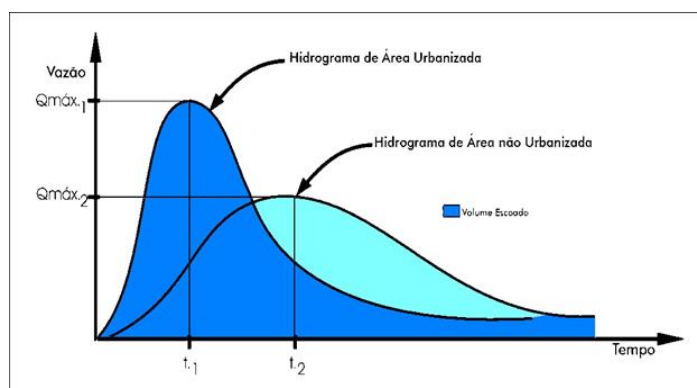


Figura 3-4 Comparação dos Hidrogramas de Pré-Urbanização e Pós Urbanização. Fonte: NUCASE (2007).

A tabela 3.1 expõe algumas das causas dos problemas mais frequentes de drenagem em áreas urbanizadas, tendo consequências diretas sobre a infraestrutura urbana.

Tabela 3-1 Principais Causas dos Problemas de Drenagem Urbana.  
Fonte: adaptado de Ministério das Cidades, Ministério da Saúde,(2006).

<b>Enchentes ribeirinhas</b>
Invasão do leito menor (zonas de alto e médio risco) por parte da população, motivada pela baixa fiscalização ou pela falta de alternativa (população de baixa renda);
Falta de zoneamento das áreas de risco;
<b>Enchentes devido à urbanização;</b>
Uso indiscriminado da canalização, que muitas vezes resulta na transferência do local de ocorrência das enchentes;
Ligações clandestinas de esgoto na rede de drenagem pluvial, ocasionando contaminação das águas pluviais;
Ocupação de áreas de encosta, resultando em processos erosivos intensos e diminuindo a capacidade de escoamento da rede de drenagem;
Coleta deficitária de resíduos sólidos e disposição em locais inadequados;
Impermeabilização excessiva do solo.
<b>Enchentes localizadas</b>
Obstrução do escoamento por construções;
Obstrução do escoamento por resíduos sólidos;
Remansos em consequência de represamentos devido a obras de urbanização;
Erros na concepção ou execução de projetos.



As soluções comumente empregadas nesse contexto envolvem ações imediatas, como a ampliação das dimensões dos canais, o que implica em alguns inconvenientes, como o aumento da velocidade do escoamento e propagação das cheias para a jusante. Além disso, esse tipo de medida requer obras onerosas, muitas vezes impraticáveis (Moura, 2004).

O Ministério das Cidades, Ministério da Saúde, 2006, afirma que as soluções tradicionais de drenagem urbana, além de dispendiosas, não contemplam aspectos qualitativos do escoamento, gerando muitas vezes situações irreversíveis ao solo e à certos usos de recursos hídricos, como recreação, por exemplo.

Nesse contexto, um controle estrutural alternativo ao convencional tem alcançado visibilidade dentre as soluções de drenagem urbana, procurando solucionar os problemas de inundação, sem sua transferência para jusante, a partir de estruturas físicas de armazenamento e infiltração do escoamento. Essas alternativas, também conhecidas como técnicas compensatórias de drenagem, teriam por finalidade compensar os efeitos da urbanização, sendo representadas por reservatórios, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, dentre outras (Cruz *et al.* 2007)

Segundo Canholi (2014), a frequência e magnitude com que as inundações têm ocorrido em algumas grandes cidades do Brasil, como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Campinas e Recife, refletem em uma necessidade imediata de procurar soluções estruturais e não estruturais no âmbito da drenagem urbana, além de compreender os eventos hidrológicos, hidráulicos e climáticos da região. A inexistência de uma visão sistêmica quanto ao planejamento da macrodrenagem nas cidades configura-se como um dos principais responsáveis pela atual situação do controle de enchentes no Brasil. As ações preventivas ou corretivas a serem implantadas dentro do atual cenário devem ser pensadas de forma integrada, a nível de toda a Bacia Hidrográfica.

As soluções estruturais aplicadas ao controle de inundações implicam altos investimentos de implantação e operação. Os sistemas de controle de inundações, por sua vez, normalmente operam de forma ociosa, o que pode ser atribuído à aleatoriedade dos eventos hidrológicos. Nesse contexto, a aplicação de curvas de dano de inundação (Curvas DPS), podem ser de grande valor aplicadas a estudos de alternativas de controle de inundação. Essa metodologia consiste na avaliação de prejuízos diretos causados por uma inundação a partir de variáveis hidráulicas associadas à submersão por inundação, como por exemplo, profundidade, velocidade de escoamento e duração (Machado *et al.* 2005).

A figura 3.5 exemplifica uma curva DPS para o setor habitacional elaborada a partir dos danos de inundação da cidade de Itajubá, Minas Gerais, obtidas por Machado (2005).

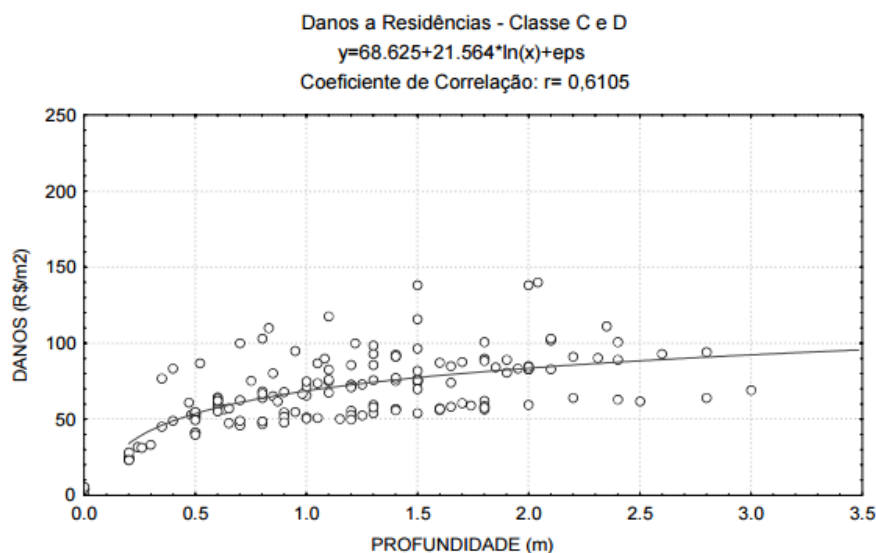


Figura 3-5 Curvas de Danos x Profundidade de Submersão para o Setor Habitacional e Classes Socioeconômicas C e D. Fonte: Machado *et al.* (2005).

Os impactos da urbanização também são observados na qualidade da água escoada. A carga de poluição das águas pluviais, anteriormente tidas como limpas, eventualmente têm se mostrado superiores à carga poluente de efluentes (NUCASE, 2007).

Segundo Castro (2007), durante os períodos secos, muitos contaminantes e poluentes se acumulam no solo e nas superfícies de áreas urbanas. Esses poluentes podem ser provenientes da área de drenagem (endógenos) ou podem percorrer longas distâncias antes de se depositarem no solo (exógenos). Algumas das principais fontes de poluição das águas pluviais são:

- A circulação de veículos (graxas, hidrocarbonetos, cobre, níquel, zinco, fósforo);
- Indústrias (metais, resíduos do petróleo, micropoluentes orgânicos);
- Dejetos de animais;
- Resíduos Sólidos;
- Canteiros e erosão dos solos;
- Poluição atmosférica (carreamento de poluentes depositados, remoção de poluentes atmosféricos de pequenas dimensões).

A qualidade dos corpos de água também é afetada quando o escoamento superficial, contaminado por poluentes, atinge corpos receptores. A magnitude dos impactos varia conforme o estado do corpo de água antes do lançamento, a capacidade de assimilação, uso e ocupação do solo e do tipo e quantidade dos poluentes (Castro, 2007).

Urban Drainage and Flood Control District (1999) apud Brito (2006) realizou um estudo com diversas estruturas que funcionam por infiltração e retenção e que auxiliam na melhoria da qualidade da água. Os resultados deste estudo estão dispostos nas tabelas 3.2 e 3.3.

Tabela 3-2 Taxa de Redução dos Poluentes do Escoamento Superficial. Fonte: Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999 apud Brito, (2006).

<b>Tipo de BMP</b>	<b>TSS</b>	<b>TP</b>	<b>TN</b>	<b>TZ</b>	<b>TPb</b>	<b>DBO</b>	<b>Bactéria</b>
Bacia de retenção gramada	10 a 50	0 a 30	0 a 10	0 a 10	N/A	N/A	N/A
Vala gramada	20 a 60	0 a 40	0 a 30	0 a 40	N/A	N/A	N/A
Pavimento poroso de bloco modular	80 a 95	65	75 a 85	98	80	80	N/A
Pavimento poroso com retenção	8 a 96	5 a 92	(-130) a 85	10 a 98	60 a 80	60 a 80	N/A
Bacia de retenção estendida	50 a 70	10 a 20	10 a 20	30 a 60	75 a 90	75 a 90	50 a 90
Bacia em alagadiços	40 a 94	(-4) a 90	21	(-29) a 82	27 a 94	27 a 94	N/A
Bacia de retenção	70 a 91	0 a 79	0 a 80	0 a 71	9 a 95	9 a 95	N/A
Plano de infiltração de areia de retenção	8 a 96	5 a 92	(-129) a 84	10 a 98	60 a 80	60 a 80	N/A
Canal em alagadiços	20 a 60	0 a 40	0 a 30	0 a 40	N/A	N/A	N/A

Onde:

- TSS - Sólidos Suspensos Totais;
- TP - Fósforo Total;
- TN - Nitrogênio Total;
- TZ - Zinco Total;
- TPb - Chumbo Total;
- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio;
- N/A - Não Avaliado.

Tabela 3-3 Porcentagem de Redução Média dos Poluentes do Escoamento Superficial. Fonte: Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999 apud Brito (2006).

Tipo de BMP	TSS	TP	TN	TZ	TPb	DBO	Bactéria
Bacia de detenção gramada		15	5	5	NA	NA	NA
Vala gramada	40	20	15	20	NA	NA	NA
Pavimento poroso de bloco modular	87,5	65	80	98	80	80	NA
Pavimento poroso com detenção	52	48,5	(-22,5)	54	70	70	NA
Bacia de detenção estendida	60	15	15	45	82,5	NA	70
Bacia em alagadiços	67	43	21	26,5	60,5	18	NA
Bacia de detenção	80,5	39,5	40	35,5	52	34,5	NA
Plano de infiltração de areia de detenção	52	48,5	(-22,5)	54	70	70	NA
Canal em alagadiços	40	20	15	20	NA	NA	NA

### 3.1.4 Impactos Socioeconômicos sobre a Urbanização

O processo de urbanização é responsável por inúmeras modificações nos padrões sociais, políticos, culturais e econômicos da população. Por um lado, esse processo desencadeou uma série de impactos positivos, como por exemplo, os avanços tecnológicos, crescimento de indústrias, modernização dos sistemas produtivos, dentre outros. Por outro lado, diversos impactos negativos, como por exemplo, intensificação da desigualdade social, desemprego, dentre outros, foram sentidos em uma parcela da população,

O fenômeno da urbanização, em grande parte dos países subdesenvolvidos, é atribuído à industrialização tardia das zonas periféricas. Os grandes pólos industriais atraíram a mão de obra do campo para as cidades, principalmente em países que receberam grandes multinacionais, como é o caso do Brasil, configurando os grandes pólos urbanos do Terceiro Mundo. Não era de interesse do poder público e da elite prover condições de habitação e infraestrutura dignas e de qualidade a essa população recém-chegada, caracterizando o que se pode chamar de “urbanização desigual”, onde prevalece a divisão social do espaço urbano (Ferreira, 2000).

Segundo Rolnik (2014), existem dois tipos de cidades: aquela construída dentro dos padrões urbanísticos e jurídicos, e aquela extensa e populosa, marcada por ocupações informais, irregulares e condições precárias, onde reside uma população de baixa renda que supre o mercado formal com sua mão de obra barata. As favelas são um exemplo de cidade

informal, onde além das péssimas condições de remuneração e qualidade de vida, vivem pessoas em permanente condição de risco, seja pelas condições de infraestrutura, seja pelos fatores ambientais que afetam essas habitações.

De acordo com Tucci (2005), os principais problemas da urbanização, com enfoque para a América Latina, são motivados pelo déficit desemprego, renda e moradia, crise econômica nos países, legislações equivocadas e incapacidade do município em realizar um planejamento do espaço com base no desenvolvimento urbano. A população que migra para as cidades, normalmente possui baixo poder aquisitivo, o que indiretamente, gera um novo problema: ocupação de áreas precárias sem infraestrutura urbana formal. Com isso, os riscos de inundação e deslizamentos aumentam consideravelmente.

No Brasil, o acesso ao abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos é marcado pela inequidade e assimetria na distribuição conforme as características socioeconômicas da população. As figuras 3.6 e 3.7 ilustram a situação de abastecimento brasileira por faixa de renda mensal domiciliar e por anos de escolaridade, respectivamente.

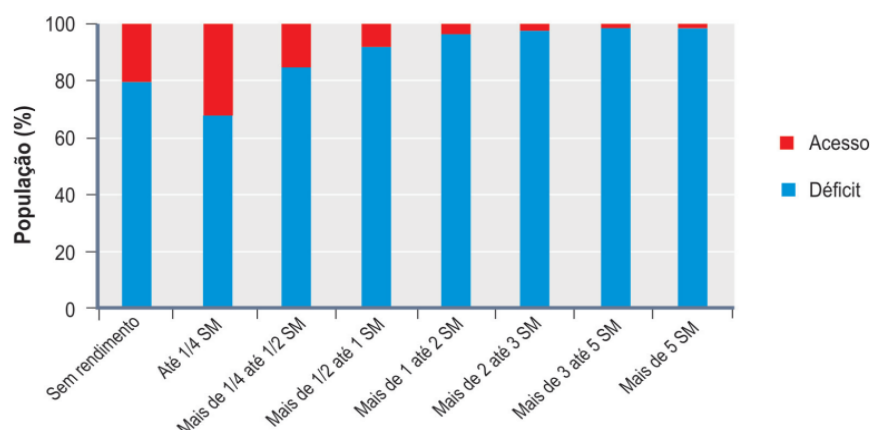


Figura 3-6 Situação de Abastecimento de Água no Brasil por Faixa de Rendimento per capita Mensal Domiciliar em 2010. Fonte: Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (2013).

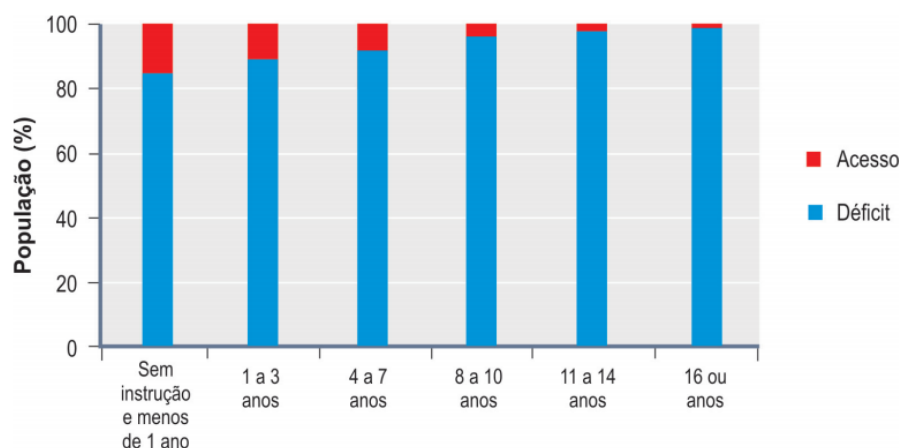


Figura 3-7 Situação de Abastecimento de água no Brasil por anos de Estudos do Responsável pelo Domicílio em 2010. Fonte: Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (2013).

O conceito de qualidade ambiental urbana não está atrelado apenas aos serviços de saneamento básico, mas também às condições físicas do meio em que a população reside, sejam de suas próprias residências ou das áreas de usufruto comum pela sociedade. A existência, ou não, de áreas com infraestrutura adequada que possam ser utilizadas pela população como forma de recreação, exemplifica esta condição.

Nucci (2008), afirma que esses ambientes devem ser agradáveis e estéticos, com acomodações e instalações variadas de modo a facilitar a escolha individual de cada habitante. Principalmente para as crianças, é fundamental que o espaço livre forneça a possibilidade de experimentar sons, odores, texturas, paladar da natureza; andar descalço pela areia, gramado; ter contato com animais como pássaros, pequenos mamíferos, insetos e etc. Para o autor o espaço urbano deve ser compartimentado em três sistemas integrados:

- Sistema de espaços com construções (habitação, indústria, comércio, hospitais, escolas e outros);
- Sistemas de espaços livres de construções (praças, parques, águas superficiais, e outros);
- Sistemas de espaços de integração urbana (rede rodoviária).

O espaço livre de construção é definido como espaço urbano ao ar livre, destinado a todo tipo de utilização que se relacione a recreação e ao lazer da população. Estes espaços podem ser privados, potencialmente coletivos ou públicos e podem desempenhar, principalmente, funções estéticas, de lazer e ecológico-ambiental (Nucci, 2008).

Londe e Mendes (2014), afirmam que o sistema de áreas verdes é entendido como integrante do sistema de espaços livres. Nucci (2008) defende a mesma ideia ao afirmar que as áreas verdes constituem-se como um subsistema do sistema de espaços livres de

construção, onde há a predominância de áreas plantadas cuja vegetação e solo permeável devem ocupar pelo menos 70% da área e ainda desempenhar função estética, ecológica e de lazer.

Costa e Ferreira (2009), afirmam que devido às disparidades históricas de construção do espaço urbano no Brasil, os diferentes conceitos de áreas livres e verdes não podem ser considerados conflitantes entre si, mas sim complementares, de forma que todos eles apresentam semelhanças fundamentais, tais como presença ou ausência de vegetação, função desenvolvida, porte e localização da vegetação.

Um dos aspectos mais importantes relacionado às áreas verdes e aos espaços livres diz respeito à existência ou não de infraestrutura mínima para utilização das mesmas. Nucci (2008), afirma que existem espaços livres que deveriam ser evitados pela população devido a sua baixíssima qualidade para o uso humano. Para o autor, a identificação dos espaços livres deve vir acompanhada por sua caracterização e avaliação de sua qualidade.

Em vista disso, Júnior (2012), Costa e Ferreira (2009) e Nucci (2008) citam o estudo proposto pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (Sbau, 1995). Neste estudo os autores afirmam que para áreas verdes públicas destinadas à recreação deve ser adotado o valor mínimo de 15m<sup>2</sup>/hab.

### **3.2 SANEAMENTO BÁSICO**

Segundo o Instituto Trata Brasil (2013), o saneamento constitui-se como um conjunto de medidas que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população e à produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica. No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pela Lei nº 11.445/2007 como o conjunto dos serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais.

Leoneti (2011) afirma que o setor tem recebido maior atenção governamental e existe uma quantidade significativa de recursos a serem investidos. No entanto, esses investimentos devem, além de gerar os benefícios já esperados quanto à melhoria da qualidade da água e dos índices de saúde pública, atender aos padrões mínimos de qualidade, sendo definidos pela legislação específica do setor, com a finalidade de garantir a sustentabilidade do mesmo.

Embora atualmente se use no Brasil o conceito de Salubridade Ambiental como sendo os quatro serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e manejo de resíduos sólidos, o mais comum é que o saneamento seja visto como sendo os serviços de acesso à água potável, coleta e tratamento de esgotos (Instituto Trata Brasil, 2013).

A Lei nº 11.445/2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e expressa, quanto ao conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais, as seguintes determinações:

- a) **Abastecimento de água potável:** constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição.
- b) **Esgotamento sanitário:** constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotamentos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente.
- c) **Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos:** conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
- d) **Drenagem e manejo de águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas:** conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

Nesse sentido, o saneamento básico caracteriza-se como um conjunto de serviços que deve ser abordado sob uma ótica sistêmica e holística, de forma a abarcar diversos critérios que devem ser analisados não pela sua individualidade, mas pelas relações que estabelecem entre si.

### 3.3 METODOLOGIAS DE AUXÍLIO À DECISÃO

O processo de tomada de decisão quanto à escolha e priorização das intervenções que combatam os efeitos negativos da urbanização tornou-se muito complexo nos dias de hoje. Isso ocorre devido à necessidade de se pensar o saneamento dentro de um contexto



sistêmico, de forma que a problemática ambiental, social e econômica, além da facilidade de implantação, esteja atrelada à escolha da alternativa de projeto.

Para Côrtes (2009), não é suficiente buscar a melhor solução técnica ou a que apresente menor custo, o atendimento a apenas esses requisitos não garante a eficácia das medidas adotadas. Em vista disso, a análise deve conter parâmetros que sejam referentes aos caracteres sociais e culturais, englobando, também, aspectos ambientais e técnicos que são de extrema relevância para a realização dos estudos em si.

Uma análise racional gera o desenvolvimento de um processo de tomada de decisão que abarca tanto as vantagens quanto às desvantagens das intervenções a serem realizadas. Para Brito (2006), os métodos de comparação são regidos por uma série de regras de decisão que consistem em: definir ganhos e perdas em função dos objetivos procurados; efetuar o recenseamento dos mesmos; medir os ganhos e as perdas em unidades idênticas ou diferentes, e utilizar coeficientes de importância que podem ou não estar explícitos em função das fases anteriores.

A constante procura de mecanismos e métodos de auxílio à tomada de decisão, fez com que as metodologias fossem divididas em dois grupos capazes de avaliar as alternativas: as Análises de Multicritério e as de Critério Único.

### **3.3.1 Análises de Critério Único**

Para Côrtes (2009), as análises de critério único apresentam uma estrutura de seleção simplificada, baseada na agregação de diferentes efeitos analisados e na consideração dos ganhos em relação a um único critério (máximo ou mínimo). Como exemplos, pode-se citar: as análises custo-benefício; custo efetividade; risco benefício e as decisórias.

### **3.3.2 Análises Multicritério**

Segundo Freitas *et al.* (2006), a utilização da metodologia multicritério é favorável para problemas complexos, com muitos tipos de decisores e pontos de vista diversos, considerados fundamentais no processo decisório, induzindo a situações conflitantes e de difícil mensuração e, em muitos casos, utilizam variáveis de ordem qualitativa.

Esse tipo de análise tem sido utilizada em diversos estudos ambientais por facilitar o processo de tomada de decisão. Como exemplo, pode-se citar o controle de inundações, que não se encaixa no atendimento a um único critério (Castro, 2002).

De acordo com o analisado por Januzzi *et al.* (2009), a análise multicritério é capaz de assimilar uma pluralidade de parâmetros que estão relacionados à natureza dos impactos. Sendo assim, esse método pode agregar todas as características consideradas importantes no processo, inclusive as não-quantitativas, de forma a observar um grupo de funções ou atributos.

Esse sistema é capaz de analisar de maneira mais concreta os objetivos mensurados; as particularidades de cada tipo de alternativa estudado; a quantificação de custos, além de estabelecer, em caráter prioritário, as fases do projeto a serem implantadas. Como desvantagens podem ser citadas a dificuldade em avaliar todas as informações para cada alternativa, e também, a subjetividade na aplicação dos critérios avaliados na resolução da problemática em questão.

### 3.3.2.1 Classificação das Análises Multicritério

Os métodos de análise multicritério podem ser divididos em três grupos diferentes, que podem ser diferenciados a partir dos papéis que os decisores e os analistas assumem durante a execução do projeto.

Para Côrtes (2009) os diferentes grupos se organizam da seguinte maneira:

- *Técnicas que geram soluções não dominadas:* O analista elabora as alternativas a serem estudadas em uma etapa que precede o processo de análise e escolha do decisor.
- *Técnicas que utilizam uma articulação antecipada de preferências:* Esse estudo contempla as relações e interações entre os objetivos e os pesos relativos entre eles, considerando a posição do decisor sobre o assunto.
- *Técnicas que utilizam uma articulação Progressiva de Preferências:* Esse tipo de estudo é marcado pela interação entre decisor e analista durante todo o desenvolvimento do processo decisório.

### 3.3.2.2 Utilização de Indicadores como Instrumento de Auxílio à decisão

Um indicador tem por função trazer à tona uma informação, esclarecer algum fato de interesse geral ou, através da utilização de uma determinada métrica, permitir o fácil entendimento do comportamento de um fenômeno (Hammond *et al.*, 1995).

Estes indicadores podem ser quantitativos, categóricos ou qualitativos. No primeiro caso, o indicador é estimado com base em pelo menos duas variáveis, havendo a

necessidade de definir uma expressão matemática para calculá-lo e uma unidade para sua medida. O indicador categórico está associado à certa quantidade de categorias propriamente ditas. O indicador qualitativo, por sua vez, pode-se confundir ou estar representado por uma variável. Vale lembrar que esta está associada quantitativamente a um valor que descreve um fenômeno ou processo, podendo variar no tempo e no espaço (Ministério das Cidades, Ministério da Saúde, 2006).

Borja e Moraes (2003) salientam que o processo de construção de um sistema de indicadores ambientais envolve uma série de decisões e exige uma concepção integrada do meio ambiente e, conseqüentemente, uma abordagem interdisciplinar.

Nesse sentido, Hammond *et al* (1995) listam algumas características comuns aos indicadores que obtiveram sucesso:

- **Dirigido ao usuário.** Indicadores devem ser úteis ao seu público alvo, transmitir informação significativa aos tomadores de decisão e prontamente inteligível para o público em geral. De forma similar, eles devem ser trabalhados de forma a refletir os objetivos que a sociedade busca alcançar;
- **Relevante politicamente.** Indicadores devem ser pertinentes às preocupações políticas. Para os indicadores de nível nacional, relevância política não significa apenas ser tecnicamente relevante, mas também facilmente interpretado em termos de tendências ambientais ou progressos em direção aos objetivos da política nacional;
- **Altamente agregado.** Indicadores devem possuir muitos componentes, mas os índices finais devem apresentar poucos números, caso contrário, os tomadores de decisão e o público não os absorverão prontamente. A quantidade de indicadores que podem ser agregados depende de quem os usará e para quê.

Já Meadows (1998) aponta alguns inconvenientes no processo de escolha e de utilização de indicadores:

- **Excesso de agregação.** Se muitos elementos são agrupados, sua mensagem combinada acaba por ser indecifrável;
- **Medir o que é mensurável ao invés do que é importante.** A área coberta por floresta, ao invés do tamanho, diversidade e saúde das árvores; toneladas de produtos químicos perigosos ao invés de toxicidade; a quantidade de dinheiro que as pessoas têm ao invés da qualidade de suas vidas; valor gasto por aluno na escola ao invés de aprendizagem efetiva;

- **Dependência de um modelo falso.** Pode-se pensar que taxa de natalidade reflete a disponibilidade de programas de planejamento familiar, quando deveria realmente refletir a liberdade das mulheres em usar tais programas. Pode-se pensar que o preço do petróleo mostra sua abundância no subsolo, quando primeiramente, conta sobre a capacidade instalada dos poços geradores em relação à capacidade instalada dos dispositivos de consumo.
- **Falsificação deliberada.** Em certas situações em que um índice traga más notícias, existe a possibilidade de que os resultados sejam mascarados ou que o índice seja suprimido.
- **Desviar a atenção da realidade.** Indicadores podem “hipnotizar” as pessoas com os números, cegando-as de suas próprias percepções. O mercado de ações está subindo, então a economia deve estar em grande forma, apesar de muitos dos cidadãos estarem mais pobres.
- **Excesso de confiança.** Indicadores podem levar as pessoas a pensar que elas sabem o que estão fazendo, ou a pensar que o que estão fazendo está funcionando, quando na realidade os indicadores podem estar falhando.
- **Incompletude.** Indicadores não são a realidade. Eles podem não alcançar muitas das sutilezas, diversidades, possibilidades ou perversidades da realidade.

Em citação à convocação de experts para discutir os indicadores de qualidade do desenvolvimento urbano feita pela ONU (Organização das Nações Unidas), Borja e Moraes (2003), afirmam que os indicadores permitem adquirir novos conhecimentos e/ou transmitir os conhecimentos existentes, não só aos investigadores, mas também aos responsáveis pela tomada de decisões e ao público em geral. Além disso, eles podem ser utilizados para descrever os prováveis resultados das políticas em curso, ou da sua ausência, ou ainda identificar a adaptação e definição de novas políticas. Assim, os objetivos de um sistema de indicadores devem não apenas contemplar o interesse do poder público em avaliar a eficiência e eficácia das políticas adotadas, mas também ser um instrumento de cidadania, na medida em que informem aos cidadãos o estado do meio ambiente e da qualidade de vida.

### 3.4 INDICADORES NO SANEAMENTO AMBIENTAL

O saneamento caracteriza-se como um conjunto de medidas de controle ambiental que visam garantir o acesso da população ao bem estar e à qualidade de vida. Nesse

sentido, é embasado por diversas diretrizes que abordam o controle, a recuperação, a preservação e o uso racional dos recursos naturais.

Em vista disso, os princípios multicriteriais têm sido largamente utilizados com o intuito de prover meios capazes de avaliar a situação da salubridade ambiental em diversos estudos de caso.

Foram realizadas diversas pesquisas sobre as diferentes vertentes do saneamento ambiental a fim de se determinar indicadores capazes de mensurar a condição do abastecimento de água, tratamento e lançamento de esgotos; disposição de resíduos sólidos; proliferação de vetores de doenças e também sobre a situação da drenagem urbana em diferentes locais.

O “Guia para a Elaboração de Planos Municipais de Saneamento” dos municípios brasileiros (2006), abordou a utilização de indicadores de estado (ou secundários) para os seguintes aspectos:

- Recuperação e Prevenção da Qualidade da Água;
- Abastecimento de Água às Populações e Atividades Econômicas;
- Proteção dos Ecossistemas Aquáticos e Terrestres Associados;
- Prevenção e Minimização dos Efeitos das Cheias, Secas e Acidentes de Poluição;
- Valorização dos Recursos Hídricos.

Para os Ministérios da Saúde e das Cidades (2006), a aplicação dos indicadores secundários ocorre a partir de etapas de diagnóstico e quantificação de seus valores. Pode-se realizar uma comparação dos valores assumidos ao longo do tempo, de forma a ilustrar a evolução da área de estudo em relação aos recursos hídricos e aos sistemas de saneamento. É possível também promover a associação dos indicadores de estado em um único indicador, de modo a permitir a sua utilização para estabelecer a ordem hierárquica das intervenções ou dos Programas/Ações de mitigação dos efeitos negativos da falta de saneamento no Brasil.

### **3.5 ÍNDICE DE SALUBRIDADE AMBIENTAL**

O Índice de Salubridade Ambiental (ISA) é uma ferramenta criada pelo CONESAN (Conselho Estadual de Saneamento no Estado de São Paulo) e é composto por 6 indicadores relacionados às áreas de saneamento ambiental, socioeconômica, saúde pública e recursos hídricos. Para Valvassori e Alexandre (2012), o ISA faz uso de uma representação numérica que contempla uma realidade complexa dos bairros do município

estudado, servindo como instrumento para diagnóstico de problemas referentes ao saneamento ambiental e para o planejamento de futuros investimentos.

Dias (2003) afirma que estes indicadores têm o objetivo de verificar as condições de salubridade em âmbito municipal, sendo composto pelo indicador de abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, controle de vetores, riscos de recursos hídricos e indicador socioeconômico, calculados por meio de expressões com média aritmética ou ponderada envolvendo os subindicadores e a pontuação, que assumem valores que variam de 0 a 100.

O cálculo final do ISA é efetuado a partir do estabelecimento de uma média ponderada dos indicadores citados. Cada parâmetro assume uma valoração que varia de 0 a 100, de modo que é criada uma escala de importância do indicador para a salubridade do meio em estudo. A formulação abaixo foi proposta no Plano de Saneamento de Belo Horizonte (2004) e exemplifica o método de aplicação do ISA.

$$ISA = [Iab] * a + [Ies] * b + [Irs] * c + [Idr] * d + [Icv] * e \quad (1)$$

Onde:

- Iab: Índice de Abastecimento de água;
- Ies: Índice de Esgotamento Sanitário;
- Irs: Índice de Resíduos Sólidos;
- Idr: Índice de Drenagem Urbana;
- Icv: Índice de Controle de Vetores;
- *a, b, c, d e e* são coeficientes genéricos representativos dos pesos adotados no estudo.

Os pesos dos índices são diferenciados e geralmente relacionam-se com o grau de carência de atendimento ou mesmo com a fragilidade dos indicadores abordados. Nesse sentido, cada autor pode atribuir diferentes pesos, levando em consideração aspectos que podem ser irrelevantes nos estudos de outros pesquisadores. Dessa forma, tais medidas podem variar de acordo com as áreas ou regiões estudadas.

Para Dias (2003), diversas são as opções de variáveis que podem ser indicativas da situação da salubridade do meio, não se dispondo ainda de um estudo concreto e consistente que seja capaz de apontar o melhor método de seleção das variáveis mais relevantes. Diversos são os fatores que podem contribuir para o impacto do saneamento

sobre a saúde e estão ligados à incorporação de medidas sanitárias como informação, educação, higiene, participação comunitária e outros.

Para Batista e Silva (2006) o Índice de Salubridade Ambiental foi pensado como um instrumento capaz de estabelecer meios de se alcançar a salubridade, uma vez que aponta de forma sintética e eficiente as medidas que devem ser implementadas a fim de se obter melhorias na qualidade de vida, abrangendo aspectos econômicos, sociais e de saúde pública para o desenvolvimento sustentável.

Batista e Silva (2006), ao aplicarem o ISA, concluíram que o mesmo se mostrou bastante eficiente no que tange ao planejamento e a gestão do saneamento, uma vez que faz uso de diversos indicadores que estão intrinsecamente ligados à problemática da salubridade ambiental no Brasil, podendo ser utilizado para monitorar as áreas intra-urbanas e setoriais, devido à integração das análises quantitativas e qualitativas de cada aspecto.

### **3.6 MODELAGEM HIDROLÓGICA**

Um modelo hidrológico pode ser considerado como uma representação simplificada do comportamento da realidade, que possibilita compreender melhor os fenômenos naturais, auxiliando no entendimento dos processos que os envolvem. Os modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender o impacto das mudanças no uso e cobertura da terra e prever alterações futuras nos ecossistemas (Rennó, 2003).

Um modelo hidrológico representa, matematicamente, os processos que envolvem o ciclo da água na superfície ou subsuperfície, tendo, como objeto de estudo, a bacia hidrográfica.

O uso de modelos pretende a antecipação de eventos e a análise do impacto das ações do homem em relação à água na superfície. De acordo com as características e finalidades do modelo há uma resposta para o objetivo da sua utilização. Brighenti (2015), afirma que a grande aplicabilidade que os modelos hidrológicos têm nos dias atuais, gera a necessidade de métodos que possam identificar o quão bem o modelo está representando a realidade desejada.

Para Merrit *et al.* (2003), as dificuldades encontradas na modelagem ambiental estão associadas à própria complexidade natural. Sistemas naturais, em escala de bacias, tendem a mostrar grande variação. Muitos modelos hidrológicos, por exemplo,

homogeneízam características topográficas, variabilidade dos sedimentos, e fontes de perturbação, o que pode acarretar previsões não representativas destes sistemas. Sendo assim, várias categorias de modelos são encontradas hoje, onde seus mecanismos se diferenciam no nível de detalhamento dos processos envolvidos, o que pode dificultar em alguns momentos a escolha do modelo mais adequado. Quando se define o modelo ideal ao estudo, deve-se ter a clareza dos dados que serão necessários para sua aplicação (entradas), bem como o objetivo e os resultados que se deseja alcançar (saídas).

A escolha de um modelo para análise de uma bacia hidrográfica e o monitoramento dos impactos das modificações que ocorrem no tempo está sujeita, principalmente, aos objetivos do estudo, à disponibilidade de informações e à familiaridade do usuário com o modelo. De acordo com estas afirmações, vários são os modelos disponíveis na área de recursos hídricos (Côrtes, 2009).

Para Latuf (2011), a viabilidade de um modelo hidrológico, também está relacionada às características da bacia e/ou do rio. A variabilidade espacial de certas características são, em alguns casos, determinantes no momento da definição de qual modelo utilizar, como por exemplo, o uso e cobertura do solo, a geologia, solos, precipitação e outros.

### **3.6.1 Modelo de Simulação ABC 6**

O software ABC 6 – Análise de Bacias Complexas - foi inicialmente desenvolvido pelo LabSid da Universidade de São Paulo (USP), com o objetivo de atender aos alunos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica. Entretanto, devido a sua facilidade de utilização, o software foi amplamente utilizado no mercado profissional, sendo que hoje já se trata de um programa de domínio público. O ABC 6 foi desenvolvido originalmente com finalidades didáticas, com o intuito de testar, de uma forma integrada, modelos hidrológicos chuva-vazão bastante conhecidos. Sua principal função é determinar hidrogramas de cheias a partir de precipitações de projeto especificadas pelo usuário ou calculadas através de relações IDF (Intensidade-Duração-Frequência) (Lunardi, 2013).

Lunardi (2013) salienta que o modelo aplica-se a problemas de Drenagem Urbana e Rural, em especial aos que podem ser classificados como macrodrenagem. Entretanto, é um software mais adequado para bacias pequenas e médias situadas em áreas urbanas e



rurais, tornando a aplicação em bacias de grande porte ( $> 50 \text{ km}^2$ ) mais trabalhosa, sendo necessária uma segmentação da área em sub-bacias menores.

Segundo Silveira (2010), o ABC 6 possui formulação matemática fundamentada nos métodos convencionais sintéticos, permite o estudo de bacias múltiplas (também denominadas complexas) e a criação de diversos cenários que auxiliam significativamente a tomada de decisões quando da obtenção de hidrogramas de cheias. As principais funções executadas pelo ABC 6 são:

- Interfaces de entrada e saída gráficas, permitindo a análise de várias bacias hidrográficas interligadas, através da criação de uma topologia esquemática na tela.
- Determinação de chuvas de projeto (distribuição espacial e temporal) para os períodos de retorno escolhidos pelo usuário;
- Cálculos de hidrogramas de cheias, a partir da chuva de projeto em função das características físicas da bacia hidrográfica;
- Composição e caminhamento das ondas de cheia pelas bacias (por reservatórios e canais naturais e artificiais);
- Pré-dimensionamento de reservatórios de controle de cheias;
- Pré-dimensionamento de largura de vertedores de soleira livre;
- Formulação de alternativas e análise de cenários por parte dos usuários.

Dentre os fenômenos naturais que compõem o ciclo hidrológico, o software ABC 6 é capaz de simular: chuva, infiltração e escoamento direto conforme expresso na figura 3.8.

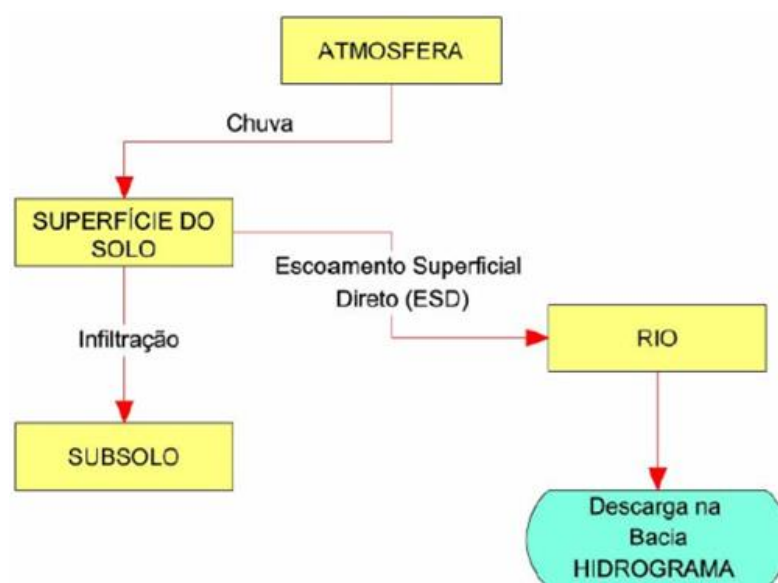


Figura 3-8 Fenômenos Naturais do Ciclo Hidrológico Simulados pelo Software ABC 6.  
Fonte: Lunardi (2013).

### **3.7 APLICAÇÕES**

No presente trabalho, a pesquisa bibliográfica orientou-se por aplicações multicriteriais, que correspondem ao método mais utilizado nas pesquisas referentes à problemática ambiental, às questões de saneamento e drenagem urbana. Dessa forma, serão expostos alguns casos em que foi utilizada a análise Multicritério a partir de indicadores ou índices setoriais tendo em vista o enfoque do projeto.

Vista como uma ferramenta de comparação capaz de agregar diferentes pontos de vista sobre um mesmo conceito, a análise multicritério consiste em um mecanismo apropriado para a formulação de resoluções para questões complexas que envolvem uma série de fatores que podem estar ou não interligados.

Evalsed (2013) afirma que, em termos gerais, esse tipo de análise é recomendada para avaliações que englobam intervenções em projetos públicos de caráter estrutural, como o traçado de autoestradas, ou a construção de técnicas compensatórias de drenagem urbana. Já há alguns anos, esta técnica vem sendo aplicada na resolução de problemas decisórios na área de recursos hídricos.

A tabela 3.4 aborda exemplos de utilização dos métodos multicritério em estudos sobre recursos hídricos. Alguns destes trabalhos foram realizados há mais de 20 anos, mesmo assim, caracterizam-se como aplicações de referência no país e que nortearam técnicas e trabalhos mais recentes.

Tabela 3-4 Trabalhos com Aplicações de Técnicas Multiobjetivo a Diversos Estudos de Caso (adaptado de Barbosa (1997) *apud* Brito (2006); Castro (2002); Moura (2004); Brito (2006) e Côrtes (2009)).

<b>Autores</b>	<b>Problema Decisório</b>	<b>Técnica Utilizada</b>
Andrade Filho (1986)	Operação de reservatório para geração de energia e irrigação no rio São Francisco.	Método dos Pesos
Fricke <i>et al.</i> (1989)	Planejamento dos recursos hídricos da Bacia do rio Piracicaba	ELECTRE I e ELECTRE II
Andrade Filho <i>et al.</i> (1990)	Gerenciamento dos recursos hídricos do sistema Cantareira e do rio Piracicaba	Método dos Pesos
Braga <i>et al.</i> (1991)	Planejamento dos recursos hídricos da Bacia do Vale do Rio Doce	Matriz de Prioridades
Braga & Barbosa (1992)	Geração hidroelétrica e controle de cheias no Paranapanema	Método das Restrições
Gobbetti & Barros (1994)	Revisão do Plano diretor de esgotos da região metropolitana de São Paulo	Promethee, ELECTRE II, Função Utilidade Multidimensional, Programação de Compromisso
Barbosa & Gobbetti (1995)	Plano integrado de aproveitamento e controle dos recursos hídricos das bacias do alto Tietê, Piracicaba, Baixada Santista e Sorocaba	ELECTRE I, ELECTRE II, Programação de Compromisso
Teixeira & Barbosa (1995)	Seleção de alternativas de projeto de barragens de uso múltiplo	Método dos Pesos, ELECTRE I e ELECTRE II
Castro (2002)	Proposição de indicadores de sistemas de Drenagem	ELECTRE III e Programação de Compromisso
Moura (2004)	Análise custo desempenho de sistemas de drenagem	TOPSIS
Brito (2006)	Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem	Programação de Compromisso
Côrtes (2009)	Sistemática de auxílio à decisão para seleção de alternativas de controle de inundações urbanas	Análise Multicritério Discreta

Brito (2006) trabalhou com a utilização de indicadores na escolha de alternativas de sistemas de drenagem urbana, considerando critérios físicos, hidrológicos, sociais, ambientais e econômicos. Para tanto, foram propostos dez indicadores relacionados a tais critérios. Para o autor, a escolha da metodologia multicritério foi baseada na facilidade de aplicação, visto que as equações foram facilmente reproduzidas em ambiente *excel*. Foi utilizada a *Programação de Compromisso* para agregar os indicadores e obter as distâncias (expressas por vetores) das alternativas à solução ideal.

Batista e Silva (2006) apresentaram o modelo ISA/JP (Indicador de Salubridade Ambiental) para análise intra-urbana por setor censitário e bairro como uma contribuição para a gestão urbana com enfoque para a área de saneamento ambiental. Este modelo configura-se como uma adaptação do modelo proposto pelo CONESAN – Conselho Estadual de Saneamento do Estado de São Paulo. A utilização do modelo ISA/JP em um Sistema de Informação Geográfica – SIG permitiu que fosse explorada a potencialidade da espacialização dos resultados. Possibilitou ainda a representação e modelagem do conhecimento, constituindo um Sistema de Apoio a Decisão Espacial – SADE. É apresentando um estudo de caso nos bairros costeiros da cidade de João Pessoa, Brasil. Foi demonstrada a viabilidade do modelo proposto bem como o avanço na descrição da salubridade ambiental, mostrando a variabilidade das informações relevantes no espaço urbano.

Seus estudos foram feitos de maneira a agregar diversos parâmetros, por meio de uma metodologia multicritério, que considerasse a influência direta da drenagem urbana e dos recursos hídricos no modelo. Além disso, os autores mostraram como se dá a relação do estudo com o meio em si, a partir da espacialização desse indicador e de seus subindicadores por setor censitário em um ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Azzout *et al.* (1995) falam sobre a utilização desse método como auxílio à decisão para escolha de técnicas compensatórias de drenagem urbana, demonstrando que esse processo deveria ser feito em duas etapas, uma de eliminação e outra de decisão. Embora as duas envolvessem abordagem multicritério, a segunda fase recomenda a aplicação dos métodos multicriteriais. Na apresentação de seus critérios justificou a escolha desses com base em extensa pesquisa bibliográfica.

Valvassori e Alexandre (2012) utilizaram o ISA para medir o grau de salubridade ambiental das áreas urbanas do município de Criciúma (SC). Os autores dividiram a área de estudo em cinco microbacias que englobavam 167 setores censitários e utilizaram dados

secundários e terciários para compor o Índice de Salubridade Ambiental. Os resultados apontaram deficiências relacionadas à Drenagem Urbana, indicando problemas de alagamento e inundação; baixos índices de coleta e tratamento de esgotos, além da ocorrência de dengue e leptospirose.

Dias (2003) aplicou a metodologia ISA para locais de ocupação espontânea, com o intuito de contribuir com os estudos referentes ao saneamento e saúde, além de poder ser utilizado como um subsídio para que o Poder Público possa vir a avaliar as áreas caracterizadas com baixo índice de salubridade, quanto à necessidade de implantação de medidas de saneamento ambiental. O estudo observa que a utilização de ponderação requer critérios que justifiquem os pesos estabelecidos. No entanto, foi constatado que poucos são os estudos que dão a devida relevância à ponderação dos indicadores propriamente ditos. O estudo foi aplicado em nove assentamentos humanos localizados em Salvador (BA).

O Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte (2004), elaborado pela Prefeitura da cidade, foi desenvolvido com base na formulação de indicadores e índices setoriais que compuseram um Índice de Salubridade Ambiental - ISA - do Município. Os indicadores e índices escolhidos foram: abastecimento de água, drenagem urbana, controle de vetores, resíduos sólidos e esgotamento sanitário. A partir dos valores obtidos e da agregação dos mesmos em um ISA, foi possível concluir que a análise de aspectos unicamente ligados às questões como a presença de infraestrutura e serviços de saneamento não seria suficiente para definir as prioridades de investimentos. Portanto, para a análise de priorização, a metodologia norteou-se por três eixos: O ISA, a densidade populacional por bacia e a existência de programas de saneamento.

## 4 METODOLOGIA

O presente trabalho propõe uma metodologia que considere múltiplos critérios na elaboração de um sistema de indicadores que resulte em um Índice de Salubridade Ambiental (ISA).

Com base na pesquisa bibliográfica desenvolvida, foram aprimorados indicadores já existentes, de modo a exprimir um diagnóstico do quadro de saneamento e da salubridade ambiental para uma bacia hidrográfica. A partir desse diagnóstico, é possível priorizar as áreas onde as intervenções são mais eminentes. Esse tipo de análise requer uma visão sistêmica e abrangente que expresse a realidade da área em estudo. Sendo assim, a definição dos indicadores foi orientada por aspectos relacionados à infraestrutura urbana, à cobertura por serviços de saneamento, coleta de resíduos, sistema de drenagem e às condições socioeconômicas da população.

A escala numérica do ISA e dos Indicadores, conforme visto no capítulo anterior, pode variar de zero a um, zero a dez ou zero a cem, a depender do interesse do aplicador. Para este estudo, optou-se pela escala de zero a um.

Sendo assim, cada indicador foi conformado por um ou mais subindicadores, que atribuíram um valor numérico ao indicador, que varia entre zero e um, onde os valores mais próximos da unidade retratam a melhor situação e os valores mais próximos de zero, por sua vez, a pior situação, em termos de qualidade do serviço, cobertura, entre outros.

Definidos os indicadores, foi feita a agregação em um Índice de Salubridade Ambiental a partir de um somatório ponderado desses indicadores. Esse valor também foi compreendido em uma escala de zero a um, onde a unidade representa a melhor condição em termos de Salubridade Ambiental, e zero, a situação mais insalubre possível.

Os pesos dos indicadores foram atribuídos de acordo com a carência do serviço, fragilidade dos subindicadores que o compõe, subjetividade na determinação de cada um e confiabilidade dos dados necessários para os cálculos. Para tanto, assumiram-se valores entre zero e um. As análises mais subjetivas receberam pesos menores com o intuito de não mascarar os resultados.

Embora o ISA seja aplicado por bacia hidrográfica, neste estudo, a delimitação da bacia não abarcou a totalidade da região administrativa em análise. Como não foi possível obter dados referentes apenas à área demarcada, para o cálculo de alguns indicadores (Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, Indicador de Resíduos

Sólidos, Indicador de Controle de Vetores e Indicador Socioeconômico), consideraram-se os dados fornecidos pelo Governo do Distrito Federal que englobam toda a região.

Os resultados foram condicionados à capacidade de obtenção de dados, o que foi feito a partir de relatórios gerados no ano de 2015 e 2016 pelo Governo Federal do DF (Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – PDAD, DF); diagnósticos sobre os serviços de coleta seletiva, triagem e destinação dos resíduos do DF elaborados pelo Serviço de Limpeza Urbana do DF, 2016; boletins informativos da Diretoria de Vigilância Ambiental em Saúde do DF (SVS/SES/GDF); Informativos Epidemiológicos da Secretaria de Estado de Saúde do DF e visitas à área de estudo. Para um dos indicadores, especificamente, foi necessário aplicar a simulação hidrológica para sua quantificação.

Por fim, determinado o ISA, foi feita uma análise de sensibilidade dos indicadores que o compuseram a partir da variação de seus pesos.

#### **4.1 PROPOSIÇÃO DOS INDICADORES**

A proposição dos indicadores foi feita tomando como base a pesquisa bibliográfica desenvolvida neste projeto, dando-se preferência aos indicadores quantitativos que fossem elaborados por análises mais objetivas, permitindo uma quantificação numérica dos mesmos, seguidos pelos indicadores categóricos, que apresentaram análise mais subjetiva baseadas na atribuição de critérios.

Portanto, o Índice de Salubridade Ambiental (ISA) foi conformado por cinco indicadores: Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário ( $I_{AAES}$ ), Indicador de Resíduos Sólidos ( $I_{RS}$ ), Indicador de Controle de Vetores de Doenças ( $I_{CVD}$ ), Indicador de Drenagem Urbana ( $I_{DU}$ ) e Indicador Socioeconômico ( $I_{SE}$ ).

A elaboração de cada um dos cinco indicadores, o detalhamento das formulações e dos subindicadores que os compõe é apresentado a seguir.

##### **4.1.1 Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**

O Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário será conformado por quatro subindicadores: Subindicador de Cobertura de Atendimento de Água Tratada, Subindicador de Cobertura de Coleta de Esgotos, Subindicador de Esgotos Tratados, Subindicador de Esgotos Tratados por Sistemas Descentralizados.

#### 4.1.1.1 Subindicador de Cobertura de Atendimento de Água Tratada

Esse subindicador avalia a quantidade de domicílios atendidos por sistema público de abastecimento de água em determinada região conforme a formulação (2).

$$I_{CAA} = \left( \frac{D_{ua}}{D_{ut}} \right) \quad (2)$$

Onde:

$I_{CAA}$ : Subindicador de Cobertura de Atendimento de Água Tratada;

$D_{ua}$ : Quantidade de domicílios Urbanos Atendidos;

$D_{ut}$ : Quantidade de domicílios Urbanos Totais.

#### 4.1.1.2 Subindicador de Cobertura e Coleta de Esgotos

O subindicador em questão quantifica a fração de domicílios atendidos por sistemas de coleta pública de esgotos sanitários a partir da formulação (3).

$$I_{CCE} = \left( \frac{D_{ue}}{D_{ut}} \right) \quad (3)$$

Onde:

$I_{CCE}$ : Subindicador de Cobertura de Coleta de Esgotos;

$D_{ue}$ : Quantidade de domicílios Urbanos Atendidos por Redes de Coleta;

$D_{ut}$ : Quantidade de domicílios Urbanos Totais.

#### 4.1.1.3 Subindicador de Esgotos Tratados

O Subindicador de Esgotos Tratados visa quantificar a fração de esgoto coletada que é efetivamente tratada pelas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's). A aplicação deste subindicador é de grande interesse visto que, atualmente, grande parte dos municípios brasileiros não consegue tratar todo o esgoto coletado pelos sistemas de coleta,



e este acaba sendo encaminhado para as galerias pluviais e disposto de maneira inapropriada em rios e lagos. A expressão (4) quantifica o Subindicador de Esgotos Tratados.

$$I_{ET} = \left( \frac{VT}{VC} \right) \quad (4)$$

Onde:

$I_{ET}$ : Subindicador de Esgotos Tratados;

VT: Volume Tratado de Esgoto;

VC: Volume Coletado.

#### 4.1.1.4 Subindicador de Esgotos Tratados por sistemas Descentralizados

Esse subindicador quantifica o volume de esgotos não coletados que são tratados por tecnologias alternativas, como por exemplo, Fossas Sépticas, conforme a expressão (5).

$$I_{ETSD} = \frac{Q_{ucf}}{Q_{na}} \quad (5)$$

Onde:

$I_{ETSD}$ : Subindicador de Esgotos Tratados por Fossas Sépticas;

$Q_{ucf}$ : Quantidade de domicílios urbanos que tem seus esgotos tratados por fossas sépticas

$Q_{na}$ : Quantidade de domicílios urbanos que não são atendidos pela rede de esgoto geral.

#### 4.1.2 Indicador de Resíduos Sólidos

O Indicador de Resíduos Sólidos será constituído por quatro subindicadores: Subindicador de Coleta de Resíduos; Subindicador de Destinação dos Resíduos; Subindicador de Coleta Seletiva e Subindicador de Reciclagem.

#### 4.1.2.1 Subindicador de Coleta de Resíduos Sólidos

O Subindicador de Coleta de Resíduos Sólidos quantifica a parcela de domicílios que é atendida pelo serviço de coleta de resíduos a partir da formulação (6).

$$I_{CRS} = \left( \frac{D_{uc}}{D_{ut}} \right) \quad (6)$$

Onde:

$I_{CRS}$ : Subindicador de Coleta de Resíduos;

$D_{uc}$ : Quantidade de domicílios com Coleta de Resíduos;

$D_{ut}$ : Quantidade de domicílios Urbanos Totais.

#### 4.1.2.2 Subindicador de Destinação de Resíduos

O Subindicador de Destinação de Resíduos descreve qual o destino final dos resíduos coletados, admitindo-se que estes podem ser dispostos em Aterros Sanitários, Aterros Controlados ou em Lixões. Essa quantificação será feita de maneira mais subjetiva que as demais, utilizando-se, para tanto, três Critérios.

$$I_{DR} = \text{Critério} \quad (7)$$

Onde:

$I_{DR}$ : Subindicador de Destinação dos Resíduos;

Critério: Em Lixão = 0; em Aterro Controlado = 0.3 ou em Aterro Sanitário = 1.

A Lei nº 12.305 de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece que, disposição final ambientalmente adequada é àquela feita em aterros sanitários, observando as normas, e procurando minimizar os impactos ambientais adversos. Sendo assim, atribuiu-se o valor um, para a situação em que a destinação dos resíduos é feita em aterros sanitários, pois este representa o cenário ideal, onde os resíduos seriam dispostos assim como estabelece a PNRS. À disposição de resíduos em lixões, por sua vez, foi atribuído o critério “0”, sendo este o pior cenário. Por fim, à disposição em

Aterros Controlados, foi atribuído o critério “0,3”, pois mesmo não representando uma situação equivalente à dos Lixões, essa alternativa ainda gera uma série de gravíssimos impactos ambientais, como por exemplo, contaminação de lençóis freáticos.

#### 4.1.2.3 Subindicador de Coleta Seletiva

Sabendo-se que a Coleta Seletiva constitui-se como um dos principais instrumentos da PNRS, optou-se pela determinação de um subindicador que quantificasse, os domicílios atendidos pela coleta seletiva. A formulação (8) expressa essa relação.

$$I_{CS} = \left( \frac{D_{CS}}{D_{ut}} \right) \quad (8)$$

Onde:

$I_{CS}$ : Subindicador de Coleta Seletiva;

$D_{CS}$ : Quantidade de domicílios urbanos atendidos por coleta seletiva;

$D_{UC}$ : Quantidade de domicílios totais.

#### 4.1.2.4 Subindicador de Reciclagem

O Subindicador de Reciclagem pretende quantificar o percentual de resíduo coletado que é efetivamente reciclado e apontar, de maneira indireta, o bom funcionamento ou não, do serviço de coleta seletiva. Optou-se por fazer essa análise tendo em vista que nem todo resíduo que é coletado pela Coleta Seletiva é de fato reciclado, o que poderia mascarar os resultados do  $I_{CS}$ .

A expressão (9) quantifica esse subindicador.

$$I_R = \left( \frac{P_R}{P_T} \right) \quad (9)$$

Onde:

$I_R$ : Subindicador de reciclagem da coleta seletiva;

$P_R$ : Peso de Lixo Reciclado;

$P_T$ : Peso de Lixo Coletado pela Coleta Seletiva.

### 4.1.3 Indicador de Controle de Vetores

A precariedade dos serviços de saneamento e da educação da população, em termos de saúde pública e higiene são fatores intimamente ligados à incidência de uma série de Doenças, como por exemplo Dengue, Diarreia, Leptospirose, dentre outros. Sendo assim, o Indicador de Controle de Vetores de Doença, será composto por dois subindicadores: o Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento, que relaciona a incidência de doenças relacionadas à água e ao saneamento de um modo geral e o Subindicador de focos de *Aedes Aegypti*.

#### 4.1.3.1 Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento

Levando em consideração que a Dengue, Diarréia, Esquistossomose e Leptospirose são as doenças relacionadas ao saneamento que representam as maiores incidências no Brasil, o Subindicador de Doenças relacionadas ao saneamento propõe quantificar o número de casos dessas doenças a cada 100 mil habitantes. Para este estudo, serão monitoradas apenas as incidências da Dengue, devido à escassez de dados específicos para as demais doenças e à dificuldade de gerar esses dados. O Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) classifica a incidência de acordo com o número de casos conforme a tabela 4.1.

Tabela 4-1 Classificação da Incidência de Dengue de acordo com o SINAN. Fonte: Informativo Epidemiológico de Dengue, Chikungunya e Zika, Secretaria de Saúde do DF (2016).

<b>Incidência</b>	<b>Número de casos</b>
Baixa Incidência	$\leq 100$ casos/100 mil habitantes/mês
Média Incidência	entre 100 e 300 casos/100 mil habitantes
Alta Incidência	$\geq$ de 300 casos/100 mil habitantes/mês

Sendo assim, o Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento será expresso pela formulação (10).

$$I_{DRS} = \text{Critério} \quad (10)$$

Onde:

$I_{DRS}$  = Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento

Critério: Foi atribuído um valor entre zero e um de acordo com a gravidade da situação. Para este estudo, tomou-se como base o Informativo Epidemiológico de Dengue, Chikungunya e Zica realizado pela Secretária de Estado da Saúde do Distrito Federal, que subsidiou a elaboração da tabela 4.2.

Tabela 4-2 Critério atribuído em função da Incidência da Dengue. Fonte: Adaptado de Informativo Epidemiológico de Dengue, Chikungunya e Zika, Secretaria de Saúde do DF (2016).

<b>Critério</b>	<b>Intervalo de Incidência (n° de casos)</b>
1	$0 \leq x < 90$
0,8	$90 \leq x < 180$
0,6	$180 \leq x < 270$
0,4	$270 \leq x < 360$
0,2	$450 \leq x < 540$
0	$540 \leq x$

#### 4.1.3.2 Subindicador de Focos de *Aedes Aegypti*

O Subindicador de Focos de *Aedes Aegypti* mensura a situação da quantidade de imóveis com a presença de recipientes com larvas de *Aedes Aegypti*. A formulação desse Subindicador foi feita a partir do Levantamento de Índice Rápido do *Aedes aegypti* (LIRAA) efetuado pela Diretoria de Vigilância Ambiental em Saúde do DF, que define três classificações a partir dos Índices de Infestação Predial (IIP). Esse índice quantifica uma relação entre o total de imóveis positivos para as larvas do mosquito e o número de imóveis inspecionados nas Regiões Administrativas. A tabela 4.3 retrata a classificação dos IIP de acordo com o Ministério da Saúde.

Tabela 4-3 Classificação dos Índices de Infestação Predial por *Aedes Aegypti* estabelecido pelas Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue, 2009, MS. Fonte: Adaptado de Levantamento de Índice Rápido do *Aedes Aegypti*, Diretoria de Vigilância Ambiental em Saúde (2016).

<b>IIP</b>	<b>Classificação</b>
<1	Satisfatório
1-3,9	Alerta
>3,9	Risco de Surto

Sendo assim, o Subindicador será quantificado pela formulação (11):

$$I_{FAA} = \text{Critério} \quad (11)$$

Onde:

$I_{FAA}$  = Subindicador de Foco de *Aedes aegypti*

Critério: Foi atribuído um valor entre zero e um, de acordo com a 4.4.

Tabela 4-4 Critério atribuído em função do Intervalo do IIP

<b>Critério</b>	<b>Intervalo do IIP</b>
0	$3,9 \leq x$
0,1	$3,51 \leq x < 3,9$
0,2	$3,12 \leq x < 3,51$
0,3	$2,73 \leq x < 3,12$
0,4	$2,34 \leq x < 2,73$
0,5	$1,95 \leq x < 2,34$
0,6	$1,56 \leq x < 1,95$
0,7	$1,17 \leq x < 1,56$
0,8	$0,78 \leq x < 1,17$
0,9	$0,39 \leq x < 0,78$
1	$0 \leq x < 0,39$

Vale ressaltar que essa classificação foi elaborada para a realidade brasileira a partir de dados de incidência de dengue do país. Além do Índice de Infestação Predial, o LIRAA também efetuou a identificação e classificação dos depósitos que possuem potencial para proliferação do vetor *Aedes aegypti*.

#### 4.1.4 Indicador de Drenagem Urbana

O indicador de Drenagem Urbana será constituído por seis subindicadores: Subindicador de Alagamento ou Inundações Pontuais, Subindicador de Vazão de Pico, Subindicador de Medidas Compensatórias, Subindicador de Antecipação do Pico de Vazão, Subindicador de Áreas Impermeáveis, Subindicador de Qualidade da Água Escoada.

#### 4.1.4.1 Subindicador de Alagamento ou Inundações Pontuais

Esse subindicador visa identificar vias ou pontos de uma região onde há ocorrência de inundação, a partir da análise de curvas dano em função da profundidade de submersão, também chamadas Curvas DPS. A formulação (12) quantifica esse subindicador.

$$I_{AI} = 1 - (\textit{Critério} * P_1) \quad (12)$$

$I_{AI}$ : Subindicador de Alagamento ou Inundações Pontuais

*Critério*: Quando não existir alagamento = 0. Quando existir = 1. Será considerada a existência de alagamento a partir de 0,4 metros de altura.

$P_1$ : Peso atribuído conforme a tabela 4.5, elaborada com base nas curvas DPS concebidas por Machado (2005). O ponto inicial da altura de inundação é em relação à cota da rua.

Tabela 4-5 Peso atribuído em função da altura da inundação.

<b>Profundidade (m)</b>	<b>Peso (<math>P_1</math>)</b>
$x \leq 0,4$	1
$0,4 < x \leq 0,8$	0,8
$0,8 < x \leq 1,2$	0,6
$1,2 < x \leq 1,6$	0,4
$1,6 < x \leq 2,0$	0,2
$x > 2,0$	0

Esse subindicador depende da existência de dados históricos de inundação para a elaboração de Curvas ou da capacidade de aplicar metodologias desenvolvidas em outros trabalhos à realidade do estudo. Para esse projeto, serão utilizadas as curvas dano obtidas por Machado (2005). Para verificar a ocorrência dos eventos de inundações, foram feitas visitas à área de estudo para interrogar os moradores.

#### 4.1.4.2 Subindicador de Vazão de Pico

O Subindicador de Vazão de Pico quantifica o aumento da vazão de pico da área pós-urbanizada em relação à vazão de pico da área pré-urbanizada por meio da expressão (13).

$$I_{VP} = \left( \frac{Q_{pós} - Q_{pré}}{Q_{pré}} \right) \quad (13)$$

Onde:

$I_{VP}$ : Subindicador de Vazão de Pico;

$Q_{pré}$ : Vazão de Pico da área pré-urbanizada;

$Q_{pós}$ : Vazão de Pico da área pós-urbanizada.

Para o cálculo desse subindicador foi necessário simular as condições da bacia atuais, pré-urbanização e pós intervenção, o que foi feito utilizando modelagem hidrológica. Para este trabalho foi utilizado o software Análise de Bacias Complexas (ABC 6).

#### 4.1.4.3 Subindicador de Antecipação do Pico de Vazão

Esse subindicador quantifica se houve aumento ou redução do tempo de pico da vazão a partir da comparação entre os tempos de pico da área pré-urbanização e pós-urbanização. A formulação (14) quantifica esse subindicador.

$$I_{APV} = \frac{T_{pós}}{T_{pré}} \quad (14)$$

Onde:

$I_{APV}$ : Subindicador Antecipação do Pico de Vazão

$T_{p2}$ : Tempo de pico da área pré-urbanizada

$T_{p1}$ : Tempo de pico da área pós-urbanização



#### 4.1.4.4 Subindicador de Medidas Compensatórias

O Subindicador de Medidas Compensatórias verifica a eficiência das técnicas implementadas com o intuito de reduzir a vazão de escoamento, de forma que quanto menor for o valor obtido para o indicador, pior o desempenho do cenário nesse aspecto. A formulação (15) descreve esse subindicador.

$$I_{MC} = \left( \frac{Q_A - Q_D}{Q_A} \right) \quad (15)$$

Onde:

$I_{MC}$ : Subindicador de Medidas Compensatórias;

$Q_A$ : Vazão de escoamento superficial antes da aplicação da medida;

$Q_D$ : Vazão de escoamento superficial após a aplicação da medida.

Para esse subindicador, foi realizada uma ida a campo com o intuito de verificar as condições da medida compensatória, tais como localização e dimensões.

#### 4.1.4.5 Subindicador de Áreas Impermeáveis

Esse subindicador quantifica a fração da área impermeável da região em relação à área total a partir da formulação (16). Para este estudo, utilizou-se o software de Geoprocessamento ArcGis, para fusão e classificação do solo, a partir das imagens aéreas do satélite Landsat-8 fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para mensurar as áreas impermeáveis.

$$I_{AIMP} = 1 - \left( \frac{A_{IMP}}{A_T} \right) \quad (16)$$

Onde:

$I_{AIMP}$  = Subindicador de Áreas Impermeáveis

$A_{IMP}$  = Áreas impermeáveis

$A_T$  = Área Total

A versão estudante do ArcGis, disponível para download gratuito, é suficiente para realização deste procedimento. A empresa Enviromental Systems Research Institute (ESRI) permite que o programa seja utilizado pelo período de três meses para usuários cadastrados como estudantes.

#### 4.1.4.6 Subindicador de Qualidade do Escoamento Superficial

O Subindicador de Qualidade do Escoamento Superficial foi pensado com o intuito de indicar a capacidade de determinados dispositivos de drenagem em reduzir a concentração de poluentes na drenagem urbana. Isso ocorre, devido ao fato de que estruturas que funcionam por retenção auxiliam na melhoria da qualidade das águas escoadas.

A metodologia adotada para este indicador foi a mesma utilizada por Brito (2006) em seu estudo. Com base nas tabelas 3.2 e 3.3, foi elaborada a tabela 4.6 que contém os limites máximos e mínimos de cada um dos parâmetros de qualidade da água. Com base nesses limites, foram estabelecidos diferentes escores para determinados limites de remoção e assim foi realizado um estudo sobre a eficiência das estruturas em reduzir os valores desses parâmetros no escoamento das águas superficiais.

Tabela 4-6 Valores atribuídos aos Parâmetros de Qualidade da Água de acordo com a Porcentagem de Redução. (Adaptado de Brito, 2006).

Parâmetros	Limites		Escores				
	Mín	Máx	0,2	0,4	0,6	0,8	1
TSS	30	87,5	30 a 41,5	41,6 a 53	53,1 a 64,5	64,6 a 76	76,1 a 87,5
TP	15	65	15 a 25	26 a 35	36 a 45	46 a 55	56 a 65
TN	-22,5	80	(-22,5) a (-2)	(-1,9) a 18,5	18,6 a 39	39,1 a 59,5	59,6 a 80
TZ	5	98	5 a 23,6	23,7 a 42,2	42,3 a 60,8	60,9 a 79,4	79,5 a 98
TPb	52	82,5	52 a 58,1	59,8 a 64,2	64,3 a 70,3	70,4 a 76,4	76,5 a 82,5
DBO	18	80	18 a 30,4	30,5 a 42,8	42,9 a 55,2	55,3 a 67,6	67,7 a 80

Conforme foi proposto por Brito (2006), o indicador de qualidade da água é obtido através da soma ponderada dos escores atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com a porcentagem de redução de poluentes resultante do uso de cada estrutura de drenagem. Foi utilizada a equação (17).

$$I_{QA} = \frac{0,25 * TSS + 0,25 * TP + 0,2 * TN + 0,2 * TZ + 0,05 * TPb + 0,05 * DBO}{1} \quad (17)$$

Onde:

TSS - Sólidos Suspensos Totais;

TP - Fósforo Total;

TN - Nitrogênio Total;

TZ - Zinco Total;

TPb - Chumbo Total;

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio;

N/A - Não Avaliado.

#### 4.1.5 Indicador Socioeconômico

O Indicador Socioeconômico será constituído por três subindicadores: Subindicador de Renda Domiciliar, Subindicador de Escolaridade e Subindicador de Áreas Recreativas.

##### 4.1.5.1 Subindicador de Renda Domiciliar

O Subindicador de Renda Domiciliar quantificará a renda por domicílio da população, a partir do somatório ponderado expresso na formulação (18).

$$I_{RD} = \frac{\sum_{i=1}^6 P_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^6 N_i} \quad (18)$$

Onde:

$I_{RD}$  = Subindicador de Renda Domiciliar

$P_i$  = Peso atribuído em função de seis classes de renda estabelecidas de acordo com a quantidade de salários mínimos, onde a unidade representa a situação ideal.

$N_i$  = Quantidade de domicílios ocupados segundo as classes de renda

A tabela 4.7 estabelece as seis classes de renda consideradas para o cálculo desse subindicador.

Tabela 4-7 Classificação de Renda e Peso Atribuído. Fonte: Adaptado PDAD (2016)

Classe de renda	Valores da Renda	$P_i$
i=1	Até 1 salário Mínimo	0,167
i=2	Mais de 1 a 2 salários mínimos	0,333
i=3	Mais de 2 a 5 salários mínimos	0,5
i=4	Mais de 5 a 10 salários mínimos	0,667
i=5	Mais de 10 a 20 salários mínimos	0,833
i=6	Mais de 20 salários mínimos	1

#### 4.1.5.2 Subindicador de Escolaridade

Esse subindicador pretende quantificar numericamente o nível de escolaridade da população de determinada região a partir de um somatório ponderado expresso na formulação (19).

$$I_{NE} = \frac{\sum_{i=1}^9 P_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^9 N_i} \quad (19)$$

Onde:

$I_{NE}$  = Subindicador de Nível de Escolaridade

$P_i$  = Peso atribuído em função de nove níveis de escolaridade estabelecidos que variam entre zero e um, sendo um, situação mais favorável.

$N_i$  = Quantidade de pessoas de acordo com os nove níveis de escolaridade estabelecidos.

A tabela 4.8 estabelece os nove níveis de escolaridade considerados para o cálculo desse subindicador.

Tabela 4-8 Classificação conforme o Nível de Escolaridade e Peso Atribuído. Fonte: Adaptado PDAD (2016)

Classe de renda	Nível de escolaridade	$P_i$
i=1	Analfabetos	0,11
i=2	Alfabetizados	0,22
i=3	Fundamental Incompleto	0,33
i=4	Fundamental Completo	0,44
i=5	Médio Incompleto	0,56
i=6	Médio Completo	0,67
i=7	Superior Incompleto	0,78
i=8	Superior Completo	0,89
I=9	Especialização	1

#### 4.1.5.3 Subindicador de Áreas recreativas

O Subindicador de Áreas Recreativas permite uma análise do metro quadrado de área recreativa por pessoa que reside na área de estudo. A Sociedade Brasileira de Arborização Urbana considera que em geral as áreas urbanas devem conter pelo menos 15 m<sup>2</sup>/hab de áreas verdes e de recreação. Por esse motivo esse valor será considerado como a situação ideal para este subindicador. A equação 20 descreve a valoração desse subindicador.

Formulação:

$$I_{AR} = \frac{A}{P} \quad (20)$$

Onde:

$I_{AR}$ : Subindicador de Áreas Recreativas;

P: População da área de estudo;

A: Área Recreativa

A tabela 4.9 expressa os critérios adotados de acordo com os resultados obtidos pela formulação 20.

Tabela 4-9 Critério atribuído conforme o resultado obtido para as áreas recreativas

<b>Critério</b>	<b>Áreas Recreativas (m<sup>2</sup>/hab)</b>
1	$x \geq 15$
0,9	$15 < x \leq 13,5$
0,8	$13,5 < x \leq 12$
0,7	$13,5 < x \leq 10,5$
0,6	$10,5 < x \leq 9$
0,5	$9 < x \leq 7,5$
0,4	$7,5 < x \leq 6$
0,3	$6 < x \leq 4,5$
0,2	$4,5 < x \leq 3$
0,1	$3 < x \leq 1,5$
0	$1,5 < x \leq 0$

Com o intuito de uniformizar os valores obtidos para cada Indicador e Subindicador, para todos àqueles que não apresentaram seus resultados compreendidos entre zero e um, foi feita uma conversão para o devido intervalo. Os sentidos adotados foram sempre crescentes.

## 4.2 ESTUDO DE CASO

A título de verificação da metodologia proposta, foi aplicado o Sistema de Indicadores aqui desenvolvido a uma Bacia Hidrográfica pré-determinada situada na Região Administrativa do Varjão, DF. O local foi escolhido devido à facilidade de aplicação, obtenção dos dados, acrescido ao fato de que essa região pudesse vir a retratar uma condição insalubre e diversas carências dos serviços públicos de saneamento.

A delimitação da Bacia Hidrográfica representada na figura 4.1 foi feita utilizando o software de geoprocessamento ArcGis, a partir das curvas de nível fornecidas pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP) e dos shapes da hidrografia da região disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). A área total da Bacia foi de aproximadamente 0,401 quilômetros quadrados, onde, atualmente, trinta por cento da área é constituída por ocupação urbana.



Figura 4-1 Delimitação da Bacia na qual será aplicada a Metodologia

#### 4.2.1 Caracterização da Área de Estudo

Segundo o PDAD (2016), o Varjão é considerado uma região urbanizada, com população aproximada de 9215 habitantes, distribuídos em 90,68 hectares, localizada no extremo sudoeste do Setor Habitacional Taquari – SHTQ, próximo ao Setor de Mansões do Lago Norte.

De acordo com a Administração Regional do Varjão – Governo de Brasília, o povoamento da Vila Varjão se iniciou em 1960, quando algumas famílias começaram a desenvolver cultivos agrícolas e ocupar a região. Em 1977 o Governo do Distrito Federal encomendou um projeto urbanístico e um relatório de Impacto de Vizinhança para o Varjão, até então tido como parte da Região Administrativa (RA) do Lago Norte. Por meio da lei 3.153/2003, a Vila Varjão tornou-se RA XXIII do Distrito Federal.

Atualmente situação de violência e precariedade do Varjão, tem dado lugar a um cenário mais seguro, tanto em termos de violência quanto de saúde pública.



Figura 4-2 Ponto de Encontro Comunitário Varjão



Para a simulação hidrológica, foi necessário estabelecer o uso e ocupação do solo para as condições atuais e de pré-urbanização da Bacia. A Figura 4.4 representa as condições de uso e ocupações atuais. O mapa foi elaborado a partir das imagens do satélite Landsat-8, disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

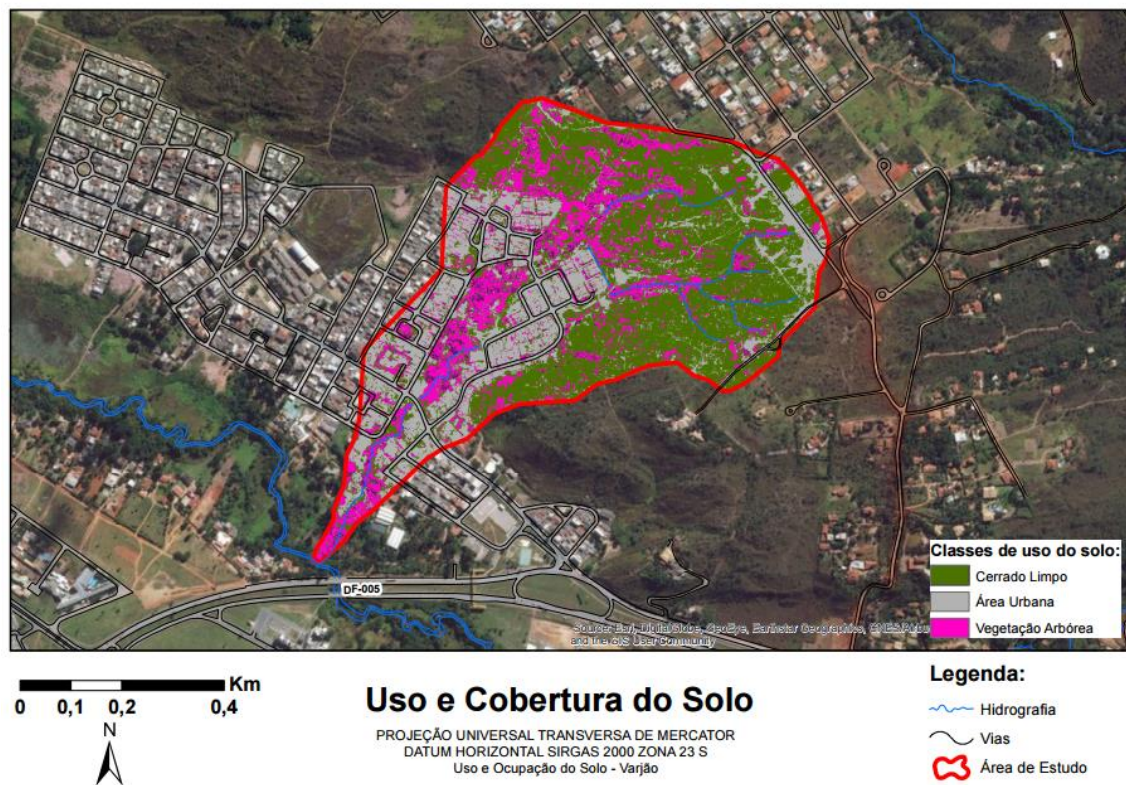


Figura 4-3 Mapa de Uso e Cobertura do Solo para a Bacia no Varjão

Com base na caracterização da bacia hidrográfica, para efeito da simulação, a bacia foi dividida em três segmentos, de modo que, na porção mais à montante, observa-se o predomínio da vegetação, sem quaisquer tipos de ocupação urbana, na porção intermediária percebe-se a coexistência de áreas urbanizadas e áreas de vegetação, e por fim, na porção mais à jusante, exclusivamente área urbana. A figura 4.5 descreve a divisão da bacia.



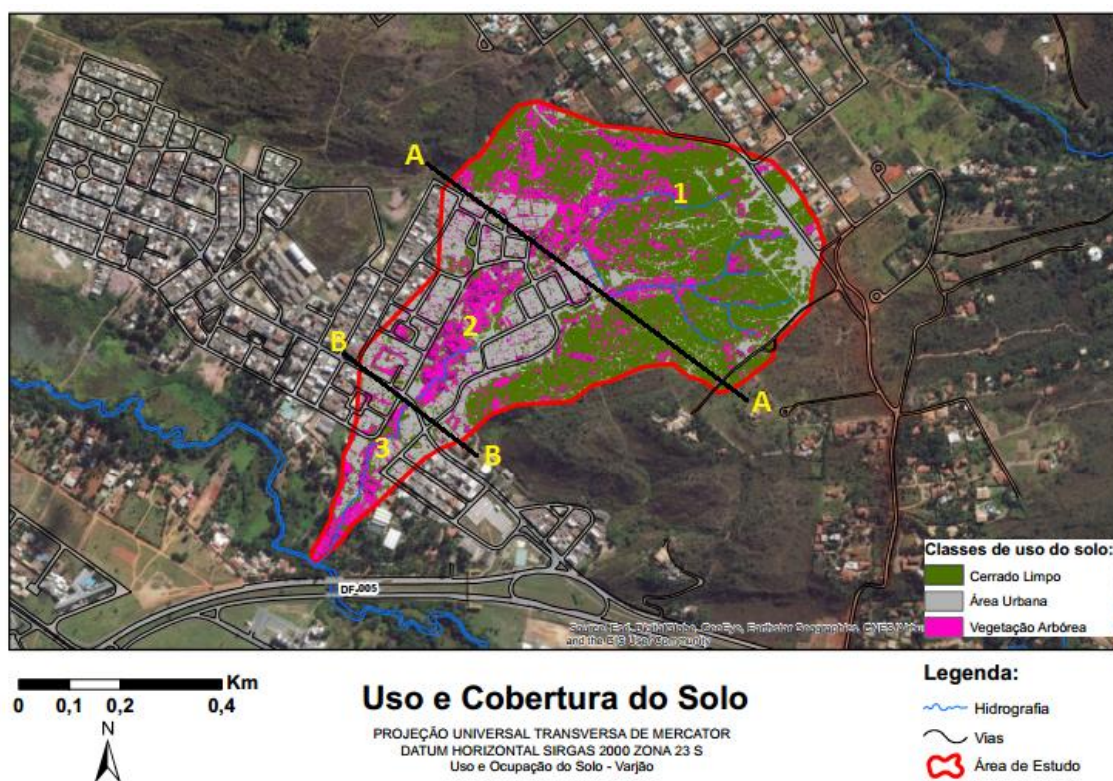


Figura 4-4 Divisão das Áreas da Bacia (Montante, Intermediária e Jusante) para aplicação da modelagem

### 4.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA

Para o cálculo de três subindicadores que compuseram o Indicador de Drenagem Urbana, utilizou-se a modelagem hidrológica. Optou-se pelo modelo de simulação ABC-6 – Análise de Bacias Complexas. Os Subindicadores que solicitaram a simulação hidrológica foram: o Subindicador de Vazão de Pico, Subindicador de Antecipação do Pico de Vazão e Subindicador de Medidas Compensatórias.

O modelo de simulação ABC-6 permite a consideração da bacia de forma concentrada ou discretizada. Para essa análise, fez-se uso da forma discretizada, de forma que a bacia foi dividida conforme a figura 4.4 em:

- Sub-bacia 1: Montante
- Sub-bacia 2: Intermediária
- Sub-bacia 3: Jusante

Para a simulação, foram considerados 3 cenários distintos: pré-urbanização, condição atual e um cenário após a aplicação de uma intervenção.

O Índice de Salubridade Ambiental foi inicialmente calculado para a condição atual, onde a única medida compensatória existente, situa-se na sub-bacia 1 (conforme a figura 4.4), na porção mais à montante. Calculados os Subindicadores de Vazão de Pico e Antecipação do Pico de Vazão, percebeu-se que a medida compensatória instalada no Varjão não era eficiente, sendo a vazão amortecida muito pequena. Sendo assim, foi proposto um cenário pós intervenção, onde seria instalado um reservatório na sub-bacia intermediária para verificar sua eficiência no amortecimento de vazão e no retardo no tempo ao pico de vazão. Feito isso, o ISA foi recalculado a título de comparação para a condição pós intervenção.

O valor de CN para cada área foi estabelecido a partir do cruzamento de informações sobre o uso e ocupação do solo (Figura 4.3) e o grupo hidrológico do solo. O tipo de solo da região é classificado como tipo B, e os CN's utilizados na simulação foram os expressos nas tabelas 4.10; 4.11 e 4.12.

A Chuva de Projeto utilizada foi calculada com base nos dados de precipitação fornecidos pela Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal. (ADASA). O tempo de retorno utilizado foi de 10 anos e o tempo de discretização da bacia de 5 minutos.

As tabelas 4.10; 4.11 e 4.12 expressam os dados de entrada utilizados para as três condições da bacia: pré urbanização, condição atual e pós intervenção.

*- Pré urbanização*

Tabela 4-10 Dados de Entrada para a Condição da Bacia Pré-Urbanizada

Descrição	Área (km <sup>2</sup> )	Área Impermeável (km <sup>2</sup> )	Área Impermeável (%)	CN Inicial
Montante	0,18	0	0	60
Intermediária	0,17	0	0	60
Jusante	0,05	0	0	60

*-Atual*

Tabela 4-11 Dados de Entrada para a Condição da Bacia Atual

Descrição	Área (km <sup>2</sup> )	Área Impermeável (km <sup>2</sup> )	Área Impermeável (%)	CN Atual
Montante	0,18	0	0	65
Intermediária	0,17	0,096	56	75
Jusante	0,05	0,024	48	75

#### *-Pós- Intervenção*

Tabela 4-12 Dados de Entrada para a Condição Pós-Intervenção da Bacia, após a instalação uma medida compensatória

Descrição	Área (km <sup>2</sup> )	Área Impermeável (km <sup>2</sup> )	Área Impermeável (%)	CN Pós-Intervenção
Montante	0,18	0	0	65
Internediária	0,17	0,096	56	75
Jusante	0,05	0,024	48	75

## 4.4 AGREGAÇÃO DOS INDICADORES

Os Subindicadores e os Indicadores propostos neste projeto foram agregados a partir de um somatório ponderado, onde os pesos foram atribuídos de acordo com a subjetividade da análise e fragilidade do indicador. Aos indicadores que representaram uma análise demasiadamente subjetiva, ou àqueles em que os dados obtidos não se mostraram tão precisos, seja pela variação temporal, seja pela fonte, foram atribuídos pesos menores, com o intuito de não mascarar os resultados.

### 4.4.1 Indicadores

A agregação dos Subindicadores em cada Indicador (Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, Indicador de Resíduos Sólidos, Indicador de Drenagem Urbana, Indicador de Controle de Vetores e Indicador Socioeconômico) foi feita a partir do somatório ponderado conforme os pesos descritos pela tabela 4.13.

Tabela 4-13 Indicadores, Subindicadores e pesos atribuídos

Indicadores	Subindicador	Pesos
<b>Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário</b>	Subindicador de Cobertura de Atendimento de Água Tratada	0,3
	Subindicador de Cobertura de Coleta Esgotos	0,3
	Subindicador de Esgotos Tratados	0,3
	Subindicador de Esgotos Tratados por Sistemas Descentralizados	0,1
<b>Indicador de Resíduos Sólidos</b>	Subindicador de Coleta de Resíduos Sólidos	0,3
	Subindicador de Destinação de Resíduos	0,3
	Subindicador de Coleta Seletiva	0,2
	Subindicador de Reciclagem	0,2
<b>Indicador de Controle de Vetores de Doenças</b>	Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento	0,5
	Subindicador de Focos de Aedes Aegypti	0,5
<b>Indicador de Drenagem Urbana</b>	Subindicador de Inundações Pontuais	0,1
	Subindicador de Vazão de Pico	0,2
	Subindicador de Antecipação do Pico de Vazão	0,2
	Subindicador de Áreas Impermeáveis	0,2
	Subindicador de Medidas Compensatórias	0,2
	Subindicador de Qualidade da Água Escuada	0,1
<b>Indicador Socioeconômico</b>	Subindicador de Renda por Domicílio	0,4
	Subindicador de Escolaridade	0,4
	Subindicador de Áreas Recreativas	0,2

#### 4.4.2 ISA

A agregação final dos indicadores no Índice de Salubridade Ambiental foi feita conforme a formulação (21).

$$ISA = (I_{AAES} * 0,25) + (I_{RS} * 0,25) + (I_{CVD} * 0,125) + (I_{DU} * 0,25) + (I_{SE} * 0,125) \quad (21)$$

Foram atribuídos pesos maiores aos Indicadores de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, Resíduos Sólidos e Drenagem Urbana tendo em vista o detalhamento, precisão e objetividade na determinação dos subindicadores que os compuseram. Além disso, considerou-se que estes três Indicadores são os mais significativos no que se refere ao diagnóstico de uma condição de salubridade ambiental.

Os Indicadores Socioeconômico e de Controle de Vetores, por sua vez, apresentaram análises mais imprecisas, devido a confiabilidade dos dados utilizados para sua quantificação, de modo que optou-se pela diminuição de seus pesos.

#### **4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE**

Calculado o Índice de Salubridade Ambiental, foi proposta uma metodologia de análise da sensibilidade dos cinco indicadores perante a variação de seus pesos, de forma que fosse possível constatar quais Indicadores apresentaram maior influência sobre o resultado final do ISA.

Sendo assim, o procedimento adotado para a análise foi:

- Aumentar o peso de um dos cinco Indicadores, mantendo esse valor fixo;
- Variar o peso dos demais, porém mantendo o somatório final igual a uma unidade;
- Observar esse comportamento para cada Indicador no valor final do ISA;
- Construir gráficos que relacionam o valor final do ISA diante da variação dos pesos de cada Indicador.

## 5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Os resultados da simulação serão apresentados para os três cenários estabelecidos: Pré-Urbanização, Atual e Pós-Intervenção, onde no cenário pós-intervenção, foi considerada a instalação de um reservatório na porção intermediária da Bacia com o intuito de verificar seu efeito nos demais Subindicadores e no valor final do ISA.

#### 5.1.1 Cenário Pré-Urbanização

Tabela 5-1 Resultados da Simulação para a condição de Pré-Urbanização

Descrição	Vazão ao Pico (m <sup>3</sup> /s)	Tempo ao Pico (min)
Montante	0,163	25
Intermediária	0,677	35
Jusante	0,612	50

#### 5.1.2 Cenário Atual

Tabela 5-2 Resultados da Simulação para a Condição Atual

Descrição	Vazão ao Pico (m <sup>3</sup> /s)	Tempo ao Pico (min)
Montante	0,439	20
Intermediária	3,47	25
Jusante	3,38	40

Para o cálculo do Indicador de Drenagem Urbana e do ISA, foram considerados os resultados obtidos para a terceira sub-bacia (jusante).

### 5.1.3 Cenário Pós Intervenção

Tabela 5-3 Resultados da Simulação para a Condição Pós-Intervenção

Descrição	Vazão ao Pico (m³/s)	Tempo ao Pico (min)
Montante	0,439	20
Intermediária	3,47	25
Jusante	1,87	50

Para o cálculo do Indicador de Drenagem e do ISA, foram considerados os resultados obtidos para a terceira sub-bacia (jusante).

## 5.2 RESULTADOS DOS INDICADORES

Os resultados obtidos a partir da agregação dos subindicadores nos Indicadores de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, Resíduos Sólidos, Drenagem Urbana, Controle de Vetores e Socioeconômicos serão expressos nas tabelas 5.4 a 5.9.

As tabelas 5.7 e 5.8 expressam os resultados obtidos para a condição atual e após a instalação da medida compensatória proposta nesse estudo.

Tabela 5-4 Resultados Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário

Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário			
Subindicador		Peso	Resultado
Cobertura de Atendimento de Água Tratada		0,3	1
Cobertura de Coleta de Esgotos		0,3	0,997
Esgotos Tratados		0,3	1
Esgotos Tratados por Sistemas Descentralizados		0,1	1
Total			0,999

Tabela 5-5 Resultados do Indicador de Resíduos Sólidos

Indicador de Resíduos Sólidos		
Subindicador	Peso	Resultado
Coleta de Resíduos Sólidos	0,3	1
Destinação de Resíduos	0,3	0,3
Coleta Seletiva	0,2	1
Reciclagem	0,2	0,6
Total		0,71

Tabela 5-6 Resultados do Indicador de Controle de Vetores de Doença

<b>Indicador de Controle de Vetores de Doença</b>		
<b>Subindicador</b>	<b>Peso</b>	<b>Resultado</b>
Subindicador de Focos de <i>Aedes Aegypti</i> .	0,5	0,8
Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento	0,5	0,8
<b>Total</b>		0,8

Tabela 5-7 Resultados Indicador de Drenagem Urbana para a Condição Atual

<b>Indicador de Drenagem Urbana</b>		
<b>Subindicador</b>	<b>Peso</b>	<b>Resultado</b>
Alagamento ou Inundações Pontuais	0,1	1
Vazão de Pico	0,2	0,269
Antecipação do Pico de Vazão	0,2	0,8
Áreas Impermeáveis	0,2	0,694
Medidas Compensatórias	0,2	0,04
Qualidade da Água Escoda	0,1	0,67
<b>Total</b>		0,528

Tabela 5-8 Resultados do Indicador de Drenagem Urbana Pós-Intervenção

<b>Indicador de Drenagem Urbana</b>		
<b>Subindicador</b>	<b>Peso</b>	<b>Resultado</b>
Alagamento ou Inundações Pontuais	0,1	1
Vazão de Pico	0,2	0,668
Antecipação do Pico de Vazão	0,2	1
Áreas Impermeáveis	0,2	0,694
Medidas Compensatórias	0,2	0,469
Qualidade da Água Escoda	0,1	0,67
<b>Total</b>		0,733

Tabela 5-9 Resultados do Indicador Socioeconômico

<b>Indicador Socioeconômico</b>		
<b>Subindicador</b>	<b>Peso</b>	<b>Resultado</b>
Subindicador de Renda por Domicílio	0,4	0,43
Subindicador de Escolaridade	0,4	0,45
Subindicador de Áreas Recreativas	0,2	0,164
<b>Total</b>		0,385



### 5.3 RESULTADOS DO ISA

Os resultados obtidos a partir da agregação dos Indicadores no Índice de Salubridade Ambiental são descritos pelas tabelas 5. 10 e 5.11. A tabela 5.10 expressa o valor do ISA para a condição atual, enquanto que a tabela 5.11 traduz o valor do ISA após aplicação da medida compensatória, e consequente alteração do indicador de Drenagem Urbana. Em vista disso, observa-se uma melhora na realidade da Salubridade Ambiental da Bacia.

Tabela 5-10 Resultado do ISA para a condição atual

<b>ÍNDICE DE SALUBRIDA AMBIENTAL - ISA</b>	<b>Peso</b>	<b>Resultado</b>
Indicador de Abastecimento de água e Esgotamento Sanitário	0,25	0,999
Indicador de Resíduos Sólidos	0,25	0,71
Indicador de Controle de Vetores de Doença	0,125	0,8
Indicador de Drenagem Urbana	0,25	0,528
Indicador Socioeconômico	0,125	0,385
<b>Total</b>		<b>0,707</b>

Tabela 5-11 Resultado do ISA após aplicação de uma intervenção

<b>ÍNDICE DE SALUBRIDA AMBIENTAL - ISA</b>	<b>Peso</b>	<b>Resultado</b>
Indicador de Abastecimento de água e Esgotamento Sanitário	0,25	0,999
Indicador de Resíduos Sólidos	0,25	0,71
Indicador de Controle de Vetores de Doença	0,125	0,8
Indicador de Drenagem Urbana	0,25	0,733
Indicador Socioeconômico	0,125	0,385
<b>Total</b>		<b>0,759</b>

### 5.4 RESULTADOS DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A figura 5.1 e a tabela 5.12 expressam os resultados obtidos para a análise de sensibilidade de cada um dos Indicadores perante a variação de seus pesos. A tabela 5.12 traduz os resultados dos coeficientes angulares de cada uma das curvas, com o intuito de auxiliar na interpretação e visualização dos resultados obtidos.

Tabela 5-12 Resultados dos Coeficientes de cada Curva obtida na Análise de Sensibilidade dos Indicadores

Indicador	Resultado	Inclinação em módulo
Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário	0,999	0,394
Indicador de Controle de Vetores	0,8	0,145
Indicador de Resíduos Sólidos	0,71	0,032
Indicador de Drenagem Urbana	0,733	0,196
Indicador Socioeconômico	0,385	0,375

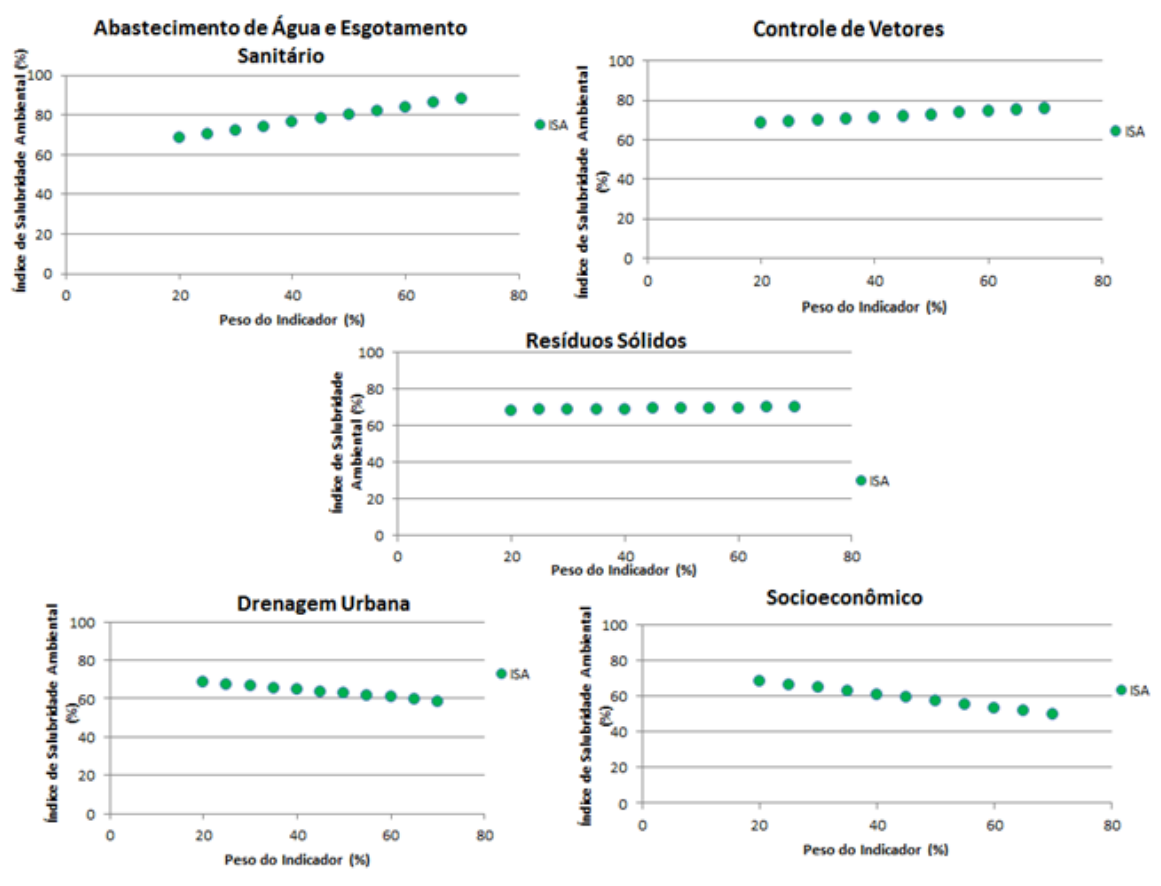


Figura 5-1 Gráficos obtidos a partir da Análise de Sensibilidade para cada Indicador

## 5.5 DISCUSSÃO

### 5.5.1 Indicadores

O Indicador de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário apresentou os valores mais elevados dentre os demais indicadores. Segundo os dados informados pelo PDAD (2016) todas as residências da região são abastecidas pelo sistema público de água.

No que tange ao esgotamento sanitário quase todas as moradias são atendidas pelo sistema de coleta. Neste caso, chama a atenção, o fato de que todo o esgoto coletado pela rede da CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) é tratado. Esta realidade difere e muito do que se encontra no restante do Brasil onde a média de esgotamento sanitário que recebe algum tipo de tratamento não ultrapassa a faixa de 40% (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS – 2014) em relação ao que é coletado.

Outro aspecto importante do estudo consistiu em avaliar a parcela do esgotamento sanitário não coletado pela rede geral da Caesb, mas que recebe algum tipo de tratamento in loco, ou seja, que seria tratado no próprio local de geração. Em geral, os esgotos gerados que não são coletados pelas redes tendem a ser dispostos de maneira inadequada ocasionando uma série de problemas ambientais. No caso do Varjão, deve-se observar o fato de que, segundo o PDAD (2016), os domicílios não atendidos pela rede de coleta geral dispunham seus dejetos em fossas sépticas, que são consideradas ambientalmente corretas.

O Indicador de Resíduos Sólidos buscou estabelecer um diagnóstico dos serviços de coleta convencional e seletiva; disposição final e de reciclagem dos resíduos gerados no Varjão. Quanto aos serviços de coleta verificou-se que a região tem um atendimento de extrema eficácia, uma vez que todos os domicílios são atendidos pela coleta de resíduos. Deve-se ressaltar que a eficiência e qualidade de muitos dos serviços públicos do Varjão devem-se, principalmente, a sua proximidade com a região administrativa do Lago Norte. Segundo o Relatório elaborado pela ADASA e UNESCO (2016) para os Serviços de Coleta Seletiva, o Varjão tem seus resultados referentes à qualidade e cobertura por serviços de manejo de resíduos influenciados pelo Lago Norte.

Deve-se ressaltar que o Subindicador de Coleta Seletiva tem seus resultados influenciados pela aderência, ou não, da população à separação adequada de seus resíduos, sendo este um aspecto frágil em relação ao subindicador e que não foi contemplado nessa análise.

No que se refere ao Subindicador de Destinação de Resíduos, os resíduos produzidos no Varjão são dispostos no Aterro Controlado do Jockey em Brasília, Distrito

Federal. Apesar de receber a alcunha de aterro controlado, este tipo de disposição está longe de ser ambientalmente correta, pelo fato de não apresentar cuidados básicos que evitem a contaminação do solo e dos lençóis freáticos localizados abaixo do aterro. Em vista disso, o critério atribuído a este subindicador foi equivalente a 0,3.

No que tange à reciclagem, segundo o Relatório elaborado pela ADASA e UNESCO (2016), 60% dos resíduos coletados pela coleta seletiva são efetivamente reciclados. Estes resíduos são encaminhados para a cooperativa CRV (Centro de Triagem dos Resíduos do Varjão) que recebem volumes originários do Varjão e do Lago Norte.

Outro aspecto importante a ser considerado nesta discussão faz referência ao volume de lixo que não é coletado pelo serviço público e que é disposto de maneira irregular no meio urbano. Pela sua dificuldade de mensuração, os subindicadores componentes do indicador de Resíduos Sólidos não contemplaram esta problemática. Em visita ao Varjão foi possível verificar que o SLU dispõe diversas caçambas na região, conforme imagem 5.2, para que a população possa acomodar os resíduos sólidos nesses locais e para que posteriormente o serviço público possa recolhê-los. No entanto, existem diversas áreas, como ilustram as figuras 5.2 e 5.3, onde a população acomoda os resíduos gerados em suas residências, de maneira irregular favorecendo as condições de insalubridade e facilitando a proliferação de vetores causadores de doenças como a dengue, leptospirose e outros.



Figura 5-2 Disposição de Resíduos no Varjão



Figura 5-3 Disposição de Resíduos de Materiais de Construção no Varjão

O Indicador de Controle de Vetores de doenças propôs uma análise em termos dos vetores e da incidência das doenças em si, por isso foi conformado tanto por um Subindicador de Focos de *Aedes Aegypti*, que retrataria a situação dos depósitos potenciais para proliferação das larvas do mosquito, quanto por um Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento.

Os resultados obtidos para esse Indicador se mostraram um tanto quanto frágeis, seja em relação à subjetividade da análise, ou ainda, pela indisponibilidade de dados. Ambos os Subindicadores que o compuseram foram valorados por meio de critérios atribuídos em função de uma classificação pré-estabelecida pelo Ministério da Saúde (MS) e pelo Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). O Subindicador de Focos de *Aedes Aegypti* enquadra a região administrativa em uma classificação satisfatória (valor do Índice de Infestação Predial inferior a uma unidade), conforme mostra a tabela 4.2, visto que seu Índice de Infestação Predial foi de 0,47. A partir disso, foi elaborada uma tabela relacionando o valor do critério ao intervalo do IIP (tabela 4.3) para que fosse possível valorar esse subindicador. O Levantamento do Índice Rápido do *Aedes Aegypti* foi realizado em Setembro de 2016.

O Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento, por sua vez, enquadra o Varjão em uma classificação de Baixa Incidência (menos de 100 casos a cada mil habitantes), de modo que se atribuiu também o critério de 0,8, já que algumas regiões

apresentam uma incidência muito menor e próxima de zero em alguns meses de 2016. O Informativo consultado para esse estudo apresentou dados até Outubro de 2016.

Os dados em relação à Diarreia, Esquistossomose e Leptospirose não foram disponibilizados para consulta, o que impossibilitou uma análise precisa e mais abrangente em termos do Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento.

Sendo assim, para essa análise, atribuiu-se um peso de 0,125 ao Indicador de Controle de Vetores de Doença, tendo em vista a subjetiva da análise de ambos os Subindicadores, acrescida ao fato de que o Subindicador de Doenças Relacionadas ao Saneamento não analisou a totalidade das doenças.

Apesar de o Subindicador de Focos de *Aedes Aegypti* enquadrar o Varjão em uma categoria satisfatória, de acordo com a análise do IIP, em visitas à região, foi possível denotar uma série de resíduos dispostos na rua de forma inadequada (como expresso pelas figuras 5.2 e 5.3), podendo representar focos de outras doenças. Esse fator aponta para uma fragilidade do subindicador no que tange ao diagnóstico de salubridade ambiental.

Tendo em vista que o Indicador de Controle de Vetores foi constituído por duas análises referentes à Dengue (devido à ausência de dados das demais doenças), seria cabível a aplicação de apenas um dos subindicadores e desligamento do outro, para evitar que a análise seja redundante. Caso opte-se pelo desligamento de um destes subindicadores, recomenda-se que seja o de Doenças Relacionadas ao Saneamento, pois este avalia a incidência e não o foco, algo passível de se intervir em benefício da comunidade.

O Indicador de Drenagem Urbana foi calculado para dois cenários: cenário atual, representando as condições existentes na Bacia e as estruturas físicas que existem no local para amortecimento de vazões; e cenário pós-intervenção, propondo uma medida compensatória que minimizasse os efeitos da urbanização sobre o escoamento superficial e fosse capaz de exprimir valores mais satisfatórios para os Subindicadores de Vazão de Pico, de Antecipação do Tempo ao Pico e de Medidas Compensatórias. Os demais Subindicadores que compuseram o Indicador de Drenagem Urbana não sofreram alteração.

Atualmente a região administrativa do Varjão não está sofrendo com a ocorrência de cheias e inundações, como indicado pelo Subindicador de Inundações Pontuais. Em visitas à área de estudo, os moradores informaram que há alguns anos atrás, enfrentaram diversos problemas em decorrência das inundações nos períodos de chuva, mas que após a instalação de uma bacia de retenção e de um muro de contenção (figura 5.4 e 5.5), esses eventos deixaram de ocorrer. Por esse motivo foi atribuído o valor 1 para este



subindicador. Conclusivamente, a metodologia Curva versus Dano não foi aplicada para mensurar os danos causados pela inundação, visto que essas não ocorreram.

Vale ressaltar que a utilização de muros de contenção, não pode ser vista como uma técnica compensatória de drenagem urbana, tendo em vista que estes resolvem a solução das inundações locais, porém transpõe o problema para áreas à jusante.



Figura 5-4 Muro de Contenção de Inundações instalado no Varjão



Figura 5-5 Muro de Contenção e calha para escoamento no Varjão

O Subindicador de Vazão de Pico, conforme representa a formulação 13, quantifica o aumento da vazão de pico após a urbanização da bacia. Foi necessário fazer uma interpolação dos resultados obtidos, tendo em vista que estes não estavam compreendidos na escala de zero a um. Sendo assim, considerou-se um cenário crítico (ao qual se atribuiu o valor zero) onde praticamente a totalidade da bacia estaria impermeabilizada e fez-se a simulação. Por fim, os resultados obtidos para esse subindicador, para o cenário atual, foram equivalentes a 0,269, constatando que as modificações no meio, devido à

urbanização foram responsáveis por uma alteração considerável no comportamento hidrológico da bacia.

Devido ao valor tão baixo do subindicador, pensou-se na proposição de uma medida compensatória que contribuísse para a diminuição da diferença entre a vazão de pico da área pré-urbanizada e pós urbanizada. A medida compensatória consistiu em um reservatório situado na porção intermediária da bacia.

Sendo assim, o valor do Subindicador de Vazão de Pico para o cenário pós-intervenção foi equivalente a 0,668, denotando que a o reservatório de fato foi capaz de amortecer a vazão.

O Subindicador de Antecipação de Tempo ao Pico também foi obtido a partir da simulação, sendo equivalente a 0,8 para a condição de atual e 1 para a pós-intervenção, após a instalação do reservatório.

Atualmente, o Varjão conta com uma Medida Compensatória, que compreende uma Bacia de Detenção localizada na porção mais à montante da bacia. Como elucidado a partir dos resultados do Subindicador de Medidas Compensatórias para a condição atual (tabela 5.7), essa bacia de detenção não é capaz de melhorar as condições da bacia em termos de escoamento e amortecimento, sendo este o subindicador que apresentou o resultado mais baixo entre os subindicadores que compuseram o Indicador de Drenagem Urbana (0,04).

O péssimo desempenho dessa medida pode ser explicado devido ao seu posicionamento, que se situou exatamente antes das áreas urbanizadas da bacia. Sendo assim, foi proposto um reservatório em um local onde, de fato, fosse possível amortecer as vazões, na parte intermediária.

O cálculo para o Subindicador de Medidas Compensatórias para a condição pós-intervenção foi equivalente a 0,469. Mesmo longe do ideal, a eficiência da medida aumentou consideravelmente (de 0,04 para 0,469).

Os resultados obtidos para o Subindicador de Áreas Impermeáveis constatou a impermeabilização da bacia (0,694) devido à sua urbanização, sendo feito a partir do Mapa de uso e Cobertura do Solo.

O Subindicador de Qualidade da Água de Escoamento permitiu uma análise do grau de influência da urbanização sobre a qualidade da água de escoamento, sabendo-se que a medida compensatória existente era uma bacia de detenção. Sendo assim, seu resultado foi de 0,67, demonstrando a eficiência dessa estrutura não apenas restrita às condições quantitativas, mas também aos aspectos qualitativos das águas de escoamento.



Por fim, o resultado do Indicador de Drenagem Urbana, para a condição atual e pós-intervenção, evoluiu de 0,528 para 0,733, após a aplicação da intervenção proposta.

A proposição de três subindicadores, dentre os cinco que compuseram o Indicador de Drenagem Urbana, implicou a necessidade de utilizar uma modelagem hidrológica, o que dificulta a aplicação do sistema de indicadores aqui proposto. Mesmo assim, confia-se que essa análise foi de extrema relevância e não deve ser suprimida do ISA.

O Indicador Socioeconômico, dentre os cinco propostos, foi aquele cuja pontuação apresentou os piores resultados. Uma análise socioeconômica pode abranger uma série de aspectos, como saúde, educação, renda, segurança, dentre outros. Para este estudo, optou-se por uma avaliação da renda e de escolaridade da população, a fim de se relacionar estes aspectos com o acesso da população aos serviços de saneamento.

Além dos Subindicadores de Renda Domiciliar e Escolaridade, foi proposto um Subindicador de Áreas Recreativas, a fim de se obter uma análise das condições das instalações públicas da região. Os dados necessários para a valoração do Indicador foram extraídos do PDAD (2016), visitas ao local e imagens de satélite.

Os subindicadores de renda per capita e de nível de escolaridade apresentaram valores finais de 0,43 e 0,45, respectivamente. Tais resultados evidenciam que o local de estudo é composto, majoritariamente, por uma população de baixa renda e que não chegou a concluir os ensinos fundamental e médio.

Já o subindicador de áreas recreativas apresentou como resultado final o valor de 0,164. A mensuração deste subindicador apontou que existe um total de 2,46 m<sup>2</sup> de áreas recreativas por habitante. A Sociedade Brasileira de Arborização Urbana recomenda que o valor mínimo de áreas verdes e recreativas do meio urbano sejam de 15 m<sup>2</sup>/hab. Em vista disso, é possível afirmar que a região em estudo apresenta uma realidade bem distante daquilo que seria considerado ideal para esse tipo de análise.

O contraste causado pelo baixo valor do Indicador Socioeconômico (0,385) com os valores mais altos dos demais indicadores evidenciou que, apesar da população ser considerada de baixa renda, isso não significa que a mesma não possa vir a ter acesso ao saneamento e a salubridade ambiental. Para que isso ocorra, basta que as medidas públicas sejam tomadas de maneira efetiva e que elas contemplem a totalidade da população.

Com o intuito de não mascarar o resultado final do ISA, o peso do Indicador Socioeconômico foi atribuído como sendo 0,125, uma vez que, apesar da população ser considerada de baixa renda, isto não se configurou como fator limitante para que a mesma não viesse a ter acesso aos serviços de saneamento básico.

### 5.5.2 ISA

A 5.13 foi extraída de um estudo proposto por Batista e Silva (2006) e apresenta a condição de salubridade ambiental por faixa de situação em porcentagem.

Tabela 5-13 Situação de Salubridade conforme a pontuação do Índice de Salubridade Ambiental.  
Fonte: Adaptado de Batista e Silva (2006)

Situação da Salubridade	Pontuação do ISA
Insalubre	0 – 0,255
Baixa salubridade	0,2551- 0,5050
Média salubridade	0,5051- 0,755
Salubre	0,7551 - 1

Ao estabelecer um comparativo entre o resultado do Índice de Salubridade Ambiental para a região administrativa do Varjão, na condição atual, com a tabela 5.13, pode-se perceber que a área em estudo caracteriza-se como de média salubridade, apresentando um valor final de 0,707.

O Sistema de Indicadores estabelecido neste trabalho permitiu a elaboração de um diagnóstico da região em termos de salubridade ambiental, e apontou os pontos mais críticos da bacia em que foi aplicado, sendo estes, a drenagem urbana, e o fator socioeconômico. Sendo assim, foi proposta uma intervenção apenas no âmbito da drenagem, pois considerou-se que as intervenções socioeconômicas não seriam compatíveis com o estudo aqui proposto.

Após aplicação da intervenção, o ISA foi recalculado, verificando um aumento de 0,052, de forma que, o Varjão deixaria de se enquadrar em uma região de média salubridade passando a ser considerado como salubre.

### 5.5.3 Análise de Sensibilidade

Posteriormente ao cálculo e agregação de todos os indicadores em um Índice de Salubridade Ambiental (ISA), foi feita uma análise de sensibilidade com o intuito de observar a vulnerabilidade do índice frente às variações dos pesos de cada um dos indicadores.

A partir da análise da figura 5.1 e da tabela 5.12, é possível concluir que os Indicadores de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário e o Socioeconômico, foram os que apresentaram a maior sensibilidade às alterações realizadas com seus respectivos pesos. Já os Indicadores de Controle de Vetores e de Drenagem Urbana apresentaram menores variações, enquanto que o de Resíduos Sólidos foi o que apresentou a menor variação.

Ao estabelecer um comparativo entre as inclinações das retas com os valores dos indicadores, foi possível perceber, que quanto mais próximo da pontuação ideal ou da antiideal o indicador estava, mais sensível ele era às alterações propostas.

Tal constatação chama a atenção para o cuidado que se deve ter ao estabelecer os pesos dos indicadores, uma vez que, a depender da importância ou do foco que se deseja a dar a uma determinada situação, as outras podem ser ofuscadas, mascarando os resultados do estudo.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Sistema de Indicadores desenvolvido neste projeto permitiu um diagnóstico da região em termos de salubridade ambiental e acessibilidade a serviços básicos de saneamento. Não foram encontrados graves problemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos ou controle de vetores; de forma que os indicadores que influenciaram negativamente o valor do ISA da região foram os de drenagem urbana e socioeconômico.

Os resultados obtidos para o ISA, nas condições atual e após a aplicação de intervenção no âmbito da drenagem foram, respectivamente, 0,707 e 0,759, observando-se melhora de 0,052. Tendo em vista que a situação atual já se aproxima da condição considerada salubre, apesar do aumento ter sido pouco significativo, a aplicação da medida elevou a situação da bacia de média salubridade à condição salubre.

A aplicação do índice mostrou-se uma ferramenta robusta para priorização de intervenções em saneamento em áreas urbanizadas, mas destaca-se que a confiabilidade dos resultados depende da qualidade dos dados que alimentam os indicadores e subindicadores.

Embora os dados do presente estudo tenham sido extraídos de sites e relatórios governamentais, os mesmos, podem ou não, expressar a realidade observada na área de estudo, mascarando a situação de salubridade da bacia. Para sanar, ou minimizar os possíveis problemas decorrentes da confiabilidade dos dados, recomenda-se que, a aplicação de um sistema de indicadores não se restrinja a dados secundários, sendo fundamental visitar a área, aplicar questionários aos moradores e identificar às especificidades da bacia.

Com base na aplicação do ISA à Região Administrativa do Varjão foi possível identificar limitações na composição de alguns dos indicadores:

- Apesar dos valores satisfatórios para os indicadores de Resíduos Sólidos e Controle de Vetores, a população ainda dispõe muitos resíduos na rua, de forma inadequada, configurando focos de doença e poluição. O estudo não apresentou metodologia que quantificasse tais resíduos.
- O Indicador de Resíduos Sólidos baseado somente na cobertura, sem considerar a frequência de coleta, a adesão da população e a coleta de resíduos especiais, não retratam a condição da bacia.

- O Indicador de Controle de Vetores apresentou aplicação limitada devido à indisponibilidade de dados sobre as doenças relacionadas ao saneamento. Por esse motivo recomenda-se que os órgãos competentes disponibilizem esses dados, a fim de, viabilizar a aplicação de estudos futuros.
- O Indicador Socioeconômico foi utilizado com o intuito de estabelecer uma correlação entre a condição socioeconômica da população e o acesso aos serviços de saneamento. A análise dos resultados demonstrou a inexistência dessa relação.
- Este indicador orientou-se apenas pela escolaridade, renda e áreas recreativas da região. Recomenda-se que análises futuras considerem outros aspectos como, por exemplo, natalidade, expectativa de vida, violência e acesso à saúde. O Índice de Desenvolvimento Humano também compreende um índice sólido que poderia ser aplicado nesse tipo de análise. Tais aspectos são de grande relevância para avaliar a condição socioeconômica de uma bacia.

Como instrumento de auxílio à decisão na priorização de intervenções que combatam os efeitos negativos da urbanização, o sistema de indicadores mostrou-se uma ferramenta eficiente, que confere uma análise detalhada e abrangente de uma bacia, porém, retrataria uma análise mais ampla, se aparecesse associado à distribuição demográfica, por exemplo, como mostrado em alguns Planos Municipais de Saneamento.

Para este estudo, a intervenção foi proposta apenas no âmbito da drenagem urbana, tendo em vista que o fator socioeconômico só poderia ser melhorado com intervenções pensadas a longo prazo, que envolvam políticas públicas sociais inclusivas que se destinam à: mobilidade urbana; acesso à habitação digna; equipamentos públicos de qualidade (iluminação; praças; quadras de esporte; áreas de lazer e convívio, segurança ) nos bairros populares; políticas de saúde (incluindo campanhas diversas voltadas para planejamento familiar, sexualidade segura,); educação pública para todas as etapas da vida, incluindo creches populares e uma formação que propicie qualificação para o ingresso num disputado mercado de trabalho. Trata-se, portanto, de um complexo e denso investimento que requisita não somente recursos materiais e financeiros, mas vontade política de governantes, gestores públicos e legisladores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (2014). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. São Paulo, SP, 118 p.
- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRÊS, F. N.; ALFAKIH, E. *Decision aids for alternative techniques in urban storm management*. Water Science and Technology. 32(1), 41-48. (1995).
- BAPTISTA, B. M. e NASCIMENTO O. N. (2002). “Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana”. *RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 7, Jan/Mar 2002, 29-49, Belo Horizonte, Brasil.
- BATISTA, M. E. M. SILVA, T. C. “O Modelo ISA/JP – Indicador de Performance para Diagnóstico do Saneamento Ambiental Urbano”. ISA/JP Model – Indicator of Performance for the Diagnosis of Urban Environmental Health. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro. Volume II – Número 1. Janeiro/Março 2006. 55-64 p.
- BELO HORIZONTE (Cidade). Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. *Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2004/2007 “Saneamento para Todos”*. Belo Horizonte. Maio, 2004. 54 p.
- BERNARDES, R. S.; SCÁRDUA, M. P.; CAMPANA, N. A. (2006). *Guia para elaboração de planos municipais de saneamento*. Brasília, Ministério das Cidades, FUNASA, 152 p.
- BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. Indicadores de saúde ambiental – Saneamento em políticas públicas: Análise crítica e proposta. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2003.
- BRASIL. Lei 11.445, de 05 de Janeiro de 2007. Publicada no Diário Oficial da União no dia 08 de Janeiro de 2007.
- BRASIL. Lei 12.305, de 02 de Agosto de 2010. Publicada no Diário Oficial da União no dia 03 de Agosto de 2010.
- BRASIL. Lei 3.153, de 06 de Maio de 2003. Publicada no Diário Oficial do Distrito Federal no dia 07 de Maio de 2003.
- BRASIL (País). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. Brasília, 2013.

- BRIGHENTI, T. M. *Modelagem hidrológica e avaliação de diferentes métodos de calibração para o modelo SWAT*. 2015. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- BRITO, D.S. (2006). *Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARTH.DM-094/06. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117 p.
- CANHOLI, P. A. (2014). *Drenagem urbana e Controle de Enchentes*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 372 p.
- CASTRO, L. M. A. *Proposição de Indicadores para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana*. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- CORDEIRO, B. S. *A Gestão de Lodos de Fossas Sépticas: Uma abordagem por meio da Análise Multiobjetivo e Multicritério*. 2010. 143 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2010.
- CÔRTEZ, J. M. *Sistemática de auxílio à decisão para a seleção de alternativas de controle de inundações urbanas*. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.TD – 05/09. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 316P.
- CRUZ, M. A. S. SOUZA, C. F. TUCCI, C. E. M. *Controle Da Drenagem Urbana No Brasil: Avanços E Mecanismos Para Sua Sustentabilidade*. XII *Simpósio Brasileiro de recursos Hídricos*, São Paulo, SP, 2007.
- DIAS, M. C. *Índice de Salubridade Ambiental em áreas de ocupação espontânea: Estudo em Salvador, BA*. 2003. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana). Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Salvador, 2003.
- EVALSED. *A Avaliação do Desenvolvimento Econômico – O GUIA*. EVALSED. 2013. 149 p.
- FERREIRA, J. S. W. *Globalização e Urbanização Subdesenvolvida*. In: *São Paulo em Perspectiva*. 2000.
- FERREIRA, J. S. W. *Brasil em Jogo: O que fica da Copa e das Olimpíadas*. Bom Tempo Editorial. Carta Maior. Volume 1

- FREITAS, A. L. P.; MARINS, C. S.; SOUZA, D. O. A Metodologia de Multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: Um estudo de caso. *GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas*. Ano 1, n° 3. Julho de 2006.
- FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Saneamento Ambiental, Sustentabilidade e Permacultura em Assentamentos Rurais – SAMSPAR. 2011.
- HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. *Environmental Indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*. Washington: World Resources Institute, 1995.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2013). Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em 9 de Junho de 2016.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. O que é Saneamento?. 2013.<  
<http://www.tratabrasil.org.br/o-que-e-saneamento>> Acesso em: 21/11/2016.
- JANUZZI, P. M.; MIRANDA, W. L.; SILVA, D. S. G. Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações. *Informática Pública*. Ano 11, n° 1, pg 69 – 87. 2009.
- LATUF, M. O. *Modelagem hidrológica aplicada ao planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Acre*. 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.
- LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; Saneamento Básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Revista de Administração Pública*. FGV, ABAPE. Rio de Janeiro. 2011.
- LONDE, P. R.; MENDES, P. C. A influência das áreas verdes na qualidade de vida urbana. *Revista Brasileira de Geografia Médica e Saúde*. Junho de 2014.
- LUNARDI, M. *Uso do modelo de simulação ‘ABC 6’ aplicado a dutovias para avaliação de áreas sujeitas á ocorrências de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo de caso na bacia do Ribeirão do Prata (SP)*. 2013. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado – Geologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2013.
- MACHADO, L. M. NASCIMENTO et al. Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: Desenvolvimento de metodologia. 2005.



- MEADOWS, D. H. *Indicator and Information System for sustainable Development. A report to balaton group*. Hartland Four Corners: The Sustainable Institute, 1998.
- MERRIT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. Science Direct. Environmental Modelling Software, p761-799. 2003.
- MOURA, P. M. *Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana* (2004). Dissertação de Pós Graduação, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 146 p.
- MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. (2008). *Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano*. Sociedade & natureza, v. 20, n. 1, p. 111-124.
- MURTA, N. A.; CASTRO, J. E.; HELLER, L. Uma perspectiva histórica das primeiras políticas públicas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil. Ambiente e Sociedade. São Paulo, 2015.
- NASCIMENTO, O. N. e HELLER, L. (2004). *Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento*. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 10, Jan/ Mar 2005, 36-48, Belo Horizonte, Brasil.
- NUCCI, J. C. Qualidade Ambiental e adensamento urbano. 2º Edição. Editora do Autor, 2008. 150 p.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. Household water treatment and safe storage: manual for the participant. 2013. Disponível em: <[http://www.wpro.who.int/environmental\\_health/documents/docs/Household\\_Water\\_Treatment\\_Safe\\_Storage\\_PARTICIPANT.pdf](http://www.wpro.who.int/environmental_health/documents/docs/Household_Water_Treatment_Safe_Storage_PARTICIPANT.pdf)> Acesso em 9 de Junho de 2016.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **World Urbanization Prospects**. Nova Iorque, 2014.
- REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL – RECESA. Águas Pluviais. Técnicas Compensatórias para o Controle de Cheias Urbanas. Guia do Profissional em Treinamento. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte, 2007.
- RENNÓ, C. D. *Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: Aplicação a Bacias Hidrográficas*. 2003. 158 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto), INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2004.
- SECRETARIA DA CONVENÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BIOLÓGICA (2012). *Panorama da biodiversidade das cidades – Ações e Políticas*. Montreal. 64 p.

- SILVEIRA, G. M. *Análise de Sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua indefinição indireta*. 2010. 243 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- SILVA, A. A. *Indicadores para a avaliação de efeitos de intervenções de saneamento básico: A questão da sustentabilidade*. 2015. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- SILVEIRA, T. A.; CARNEIRO, A. F. T.; PORTUGAL, J. L. Estruturação de bases cartográficas para sistemas de informação geográfica (SIG). Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. II. Recife, 2008.
- SIQUEIRA, M. M.; MORAES, M. S. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. Departamento de Epidemiologia e Saúde Coletiva, Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto. São José do Rio Preto, São Paulo, 2009.
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2014. 2016. <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2014>>. Acesso em: 27/11/2016.
- SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais. Volume 1. 3ª Edição. 2005.
- TUCCI, C. E. M. (2005). *Curso de gestão das inundações urbanas*. Porto Alegre: UNESCO – Global Water Partnership South America – Asociación mundial del agua, 197 p.
- UNESCO. Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura. *Estudos e Proposição de Logística e Alternativas Tecnológicas e Institucionais para os Serviços de Coleta Seletiva*. Proposição de Modelos de Monitoramento e Avaliação Rotineira dos Processos de Coleta Seletiva e do Processamento dos Resíduos Recicláveis Coletados no Distrito Federal. Março, 2016
- UNESCO. Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura. *Estudos e Proposição de Logística e Alternativas Tecnológicas e Institucionais para os Serviços de Coleta Seletiva*. Proposição de Modelagem para Execução Eficiente dos Serviços de Coleta Seletiva, Triagem e Destinação dos Resíduos Recicláveis Coletados no Distrito Federal. Janeiro, 2016.
- VALVASSORI, M. L. ALEXANDRE, N. Z. Aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) para áreas urbanas. Application of environmental health indicator (ISA) for urban areas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*. Santa Catarina, SC. Número 25. Setembro de 2012.